



**Tielaitos**

# Betonipäällysteen seuranta

Vt 4 Kempele - Kiviniemi

## Seurantaraportti nro 2

### Betonipäällysteen seurantasuunnitelma 1989-2021

Betonipäällysteen seurantaohjelma 1989

Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta 1991

Seurantaraportti n:o 1 1993

**Seurantaraportti n:o 2 1995**

Kuntoraportti n:o 1 1997

Seurantaraportti n:o 3 1999

Seurantaraportti n:o 4 2001

Kuntoraportti n:o 2 2003

Seurantaraportti n:o 5 2005

Seurantaraportti n:o 6 2007

Kuntoraportti n:o 3 2009

Seurantaraportti n:o 7 2011

Seurantaraportti n:o 8 2013

Kuntoraportti n:o 4 2015

Seurantaraportti n:o 9 2017

Seurantaraportti n:o 10 2019

Kuntoraportti n:o 5 2021

**Tielaitoksen  
selvityksiä**

**15/1995**

Oulu 1995

**Geokeskus**  
Oulun kehitysyksikkö

Tielaitoksen selvityksiä  
15/1995

## **Betonipäällysteen seuranta**

Vt 4 Kempele - Kiviniemi

**Seurantaraportti nro 2**

**Tielaitos**

Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö

Oulu 1995

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-042-3  
TIEL 3200293  
Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1995

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotepalvelut  
Telefax (90) 1487 2652

**Tielaitos**

Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 148 721

Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö  
Kansankatu 47  
PL 261  
90101 OULU  
Puh. (981) 310 9383

**Aiheluokka** 33

**Asiasanat** betonitie, betonipäällysteet, betonipäällysteen seuranta

## TIIVISTELMÄ

Betonipäällysteen suunnittelun lähtökohta oli mitoittaa betonipäällyste ja sen alapuoliset rakenteet kestämaan sekä ankaran talven, että vilkkaan liikenteen aiheuttamat rasitukset ja kuluminen. Työn toteutuksessa v. 1990 saavutettiin päällysteen laadun ja tasaisuuden suhteen työlle asetetut tavoitteet.

Neljän ensimmäisen käyttövuoden seuranta osoittaa tierakenteiden pienosta painumista kahdessa siltipehmeikkökohdassa noin 500 m:n matkalla. Painuma on ollut tien poikkileikkaukseen nähden tasaista, enimmillään 12,5 cm, eikä se ole aiheuttanut havaittavia vaurioita päällysrakenteeseen tai päällysteeseen.

Betonipäällysteen käyttäytyminen ja ominaisuudet ovat kehittyneet ennakoitun mukaisesti. Alkukuluminen on ollut normaalia alkupään noin 300 m:n osuutta lukuunottamatta. Siellä tien toisella kaistalla on todettu muuta tiesaa voimakkaampaa kulumista. Kulumisen on arvioitu johtuneen työnaikeiden levitysteknisten ongelmien aiheuttamasta kiviaineksen lajittumasta.

Betonin lujuuden kehitys on jatkunut normaalina.

Betonipäällysteeseen syntyi alkukuivumisen aikana halkeamia, jotka korjattiin injektioimalla. Injektoiduissa kohdissa ei ole ilmennyt poikkeavaa käyttäytymistä eikä päällysteen alkukuluminen ole paljastanut uusia halkeamia.

Päällysteen saumaus on jouduttu uusimaan vuosina 1991 ja 1993. Vuonna 1993 saumaus uusittiin käyttäen EPDM-kumista valmistettuja saumalistoja. Seurantajakson aikana niissä ei havaittu vaurioitumista. Saumamassan irtoilu ei näytä aiheuttaneen saumarakenteille vaurioita.

Liukkaudentorjuntatoimenpiteet betoni- ja AB-päällysteosuuksilla ovat olleet samat. Betonipäällysteen erilaisen lämpökäyttäytymisen vuoksi toimenpiteiden ajoitus on jonkin verran erilainen.

Viimeisen kahden vuoden onnettomuustilaston mukaan onnettomuusaste betonipäällysteellä on ollut samaa suuruusluokkaa kuin vertailukohteena olleella AB-päällysteosuudella.



**Keywords** pavement, cement concrete, pavement performance

## ABSTRACT

Finnish National Road Administration (FinnRA) Oulu district constructed a 4-km's long portland cement concrete pavement in the year 1990 on the Main Road 4 (European Highway 75) near Oulu. The main goal of this test road was to design the concrete pavement to tolerate the arctic climate (especially frost), to bear the heavy traffic and to withstand the wearing of studded tires and the influence of de-icing chemicals. The requirements in quality and evenness on the pavement were achieved in the construction works in 1990.

Some small settlements in road structure on two different soft clay subgrade sections, total length of 500 m's, have occurred during the follow-up period. This settlement, maximum 12,5 cm, is even both in longitudinal direction and in cross section. The settlement has not caused damages in concrete slabs.

The performance and quality of the concrete pavement have developed as forecasted. The initial deterioration has been normal on the concrete pavement everywhere but 300 m's in the southern end, where concrete paving was started. A little faster rutting compared to the rest of the concrete pavement has occurred on the eastern lane due to technical problems in concrete paving. Those problems have caused significant separation in concrete aggregate.

The compressive strength of the concrete has increased as forecasted.

Some tens of micro cracks occurred during the initial shrinkage. These cracks were impregnated after the paving works were done. No more cracks or rutting has occurred during the follow-up period of 4 years.

The sealings of this concrete pavement were replaced twice, in 1991 and 1993. In 1993 the EPDM rubber joint elements (PHOENIX) were used as sealing method. No loosening of joint elements or no deterioration in joints or concrete slabs has occurred in winter 1993/94.

De-icing operations of this cement concrete pavement and the asphalt concrete on both ends of this test road have been equally. Due to different thermal capacity of these pavement types the scheduling of these operations has been somewhat different. There are no significant differences on the accident rate of the concrete pavement compared to the asphalt concrete.

## ALKUSANAT

Vuonna 1990 rakennettiin vt:lle 4 välillä Kempele - Kiviniemi noin 4 km pitkä betonipäällyste. Päällysteen pitkän aikavälin seuranta varten laadittiin seurantasuunnitelma, jonka tavoitteena on saada käsitys nykyaikaisen betonipäällysteen rakentamistekniikan osaamisesta ja päällysteen kestämisestä pohjoisissa olosuhteissa. Erityisesti seurannan avulla pyritään

- \* toteamaan mahdolliset vauriot, niiden syyt ja eteneminen
- \* mahdollistamaan korjaus- ja kunnostustoimenpiteiden oikea-aikainen suorittaminen ja tien palvelutason säilyminen
- \* keräämään tietoja ja kokemuksia betonipäällysteen kunnossapito-toimenpiteistä ja -kustannuksista
- \* keräämään tutkimus- ja kehitystyötä varten tietoja betonipäällysteen palvelutasosta ja kestävyydestä syvän roudan olosuhteissa.

Seurannalle suunniteltiin päällysteen käyttöiän kattava aikajänne, jotta riittävällä varmuudella voitaisiin todeta betonipäällysteen pitkäaikaikäikäyttäytyminen, palvelutason säilyminen ja taloudellisuus sekä tienpitäjän että tienkäyttäjän kannalta.

Joka toinen vuosi tapahtuvalla raportoinnilla pyritään välittämään betonipäällysteiden tutkimisesta, suunnittelusta, tuotannosta, käytöstä ja ylläpidosta kiinnostuneille ajantasaista, suunnitelmallisesti tuotettua tietoa tulevien ratkaisujen perustaksi.

Oulussa helmikuussa 1995

Geokeskus  
Oulun kehitysyksikkö

---

## SISÄLTÖ

---

1	JOHDANTO	9
2	SEURANTAOHJELMA	10
2.1	Mittausohjelman sisältö	10
2.2	Mittausten suorittajat	10
2.3	Muut selvitykset	11
2.4	Mittauskalusto ja mittausohjelman toteutuminen	11
3	SEURANTATULOKSET	14
3.1	Mittaustulokset	14
3.1.1	Tasaisuusmittaukset	14
3.1.2	Uramittaukset	15
3.1.3	Valokuvatarkastelut	22
3.1.4	Kitkaominaisuudet	30
3.1.5	Valon paluuheijastuvuus	32
3.1.6	Melumittaukset	32
3.1.7	Betonilaattojen liikkeet	33
3.1.8	Betonin laadun seuranta	33
3.1.9	Routahavaintoihin liittyvät mittaukset	39
3.1.10	Vaaitukset	41
3.2	Päällysteen kunnon seuranta	45
3.2.1	Kunto-/vaurioinventointi	45
3.2.2	Saumojen tarkastus	46
3.2.3	Betonitien kuntorekisteri ja kuntorekisterin päivitys	47
3.3	Keli, kunnossapito ja liikenne	48
3.3.1	Sää- ja kelihavainnot	48
3.3.2	Kunnossapitotoimenpiteet	50
3.3.3	Liikenteen laatu ja määrä	50
3.3.4	Liikenneturvallisuus	51
4	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA ESITYS SEURANNAN JATKO TOIMENPITEIKSI	53
5	LIITTEET	55

---



## 1 JOHDANTO

Betonitie välillä Kempele - Kiviniemi avattiin liikenteelle syyskuussa 1990. Vuonna 1989 valmistuneessa betonitien seurantaohjelmassa on päätetty betonitietä koskevasta laajasta tutkimusohjelmasta. Seurantaohjelman tarkoituksena on osoittaa tarpeelliset mittaus- ja havaintotekijät sekä antaa ohjeet mittauksen ja havaintojen suorittamisesta koko päällysteen oletetulle kestoajalle. Seurantamittaustulokset kootaan joka toinen vuosi laadittavaan seurantaraporttiin.

Suunnittelun ja rakentamisen vaiheet on selostettu tiehallituksen sisäisessä julkaisussa 23/1991: Betonipäällysteen seuranta, Vt 4 Kempele - Kiviniemi, Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta. Raportin ovat laatineet DI Esko Perälä ja ins. Heimo Tervola Oulun tiepiiristä.

Betonitien seuranta on suunniteltu kattavan koko päällysteen mitoitusiän eli 30 vuotta. Seurantatuloksista raportoidaan ainakin alkuvuosina joka toinen vuosi, jotta tutkimustulokset lyhyemmiltä aikaväleiltä saataisiin kootusti käyttöön. Betonitien valmistumisvaiheessa tehtyjen toteutuneen lähtötilanteen dokumentointimittauksen ja elokuun 1992 loppuun mennessä tehtyjen seurantamittauksen tulokset on esitetty tielaitoksen selvityksessä 16/1993: Betonipäällysteen seuranta, Vt 4 Kempele - Kiviniemi, seurantaraportti nro 1.

Tämä seurantaraportti nro 2 sisältää kaikki ensimmäisen seurantaraportin seurantatulokset sekä kaikki kolmannen ja neljännen käyttövuoden aikaiset seurantatulokset elokuun 1994 loppuun asti.

Tarkemmat analysoinnit ja johtopäätökset päällysteen käyttäytymisestä tehdään joka kuudes vuosi koottavassa kuntoraportissa. Ensimmäinen kuntoraportti vuosien 1990 - 96 seurantatulosten perusteella julkaistaan 1997.

Geokeskuksen Oulun kehitysyksikössä betonitien seuranta johtaa DI Heikki Suni. Tämän seurantaraportin on laatinut DI Markku Salo Oulun Viatek Oy:ssä.

## 2 SEURANTAOHJELMA

### 2.1 Mittausohjelman sisältö

Betonipäällysteen seuranta on tehty tielaitoksen Oulun kehitysyksikössä joulukuussa 1989 valmistuneen betonipäällysteen seurantaohjelman mukaisesti. Seurantaohjelma on vuosien 1990 - 1992 osalta erittäin laaja ja kattava.

Betonitien valmistumisvaiheessa syksyllä 1990 ja talvella 1991 dokumentoitiin lähtötilanne ja alkuvaiheen seuranta varten kaikki ohjelman mukaiset tutkimukset. Ensimmäisen talvikauden tulosten perusteella mittausohjelmaa tarkistettiin. Vuosia 1990 - 1994 koskeva alkuperäinen betonitien seurantaohjelma on esitetty kuvassa 1. Kuvassa on tummennettu toteutuneet mittaukset.

Viite n:o	Vuosi Kuukausi	90 9	91 2 4 8 11	92 2 4 8 12	93 2 4 8 12	94 2 4 8 12
1	Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta		x			
2	Tasaisuus	x	x x	x x	x x	x
3	Urautuminen	x	x	x	x	x
4	Kitkaominaisuudet	x	x	x		x x
5	Paluuheijastuvuus	x		x		
6	Melu	x		x		
7	Betonilaattojen liikkeet	x	x			
8	Taipumamittaus			x		
9	Betonin laatu	x	x	x		
10	Routahavainnot		x	x x	x x	x x
11	Vaaitukset	x	x x	x x	x x	x x
12	Inventoinnit	x	x	x		x
13	Saumojen tarkastus		x	x		x
14	Kuntorekisterin päivitys	x	x	x		x
15	Liikenneturvallisuus					
16	Sää ja liikenne					
17	Seurantaraportti				x	x
<div> <div>x</div> Suunniteltu ohjelma           <div></div> Toteutunut tilanne         </div>						

Kuva 1: Betonitien seurantaohjelma vuosille 1990 - 1994

### 2.2 Mittausten suorittajat

Oulun kehitysyksikkö on seurannan toteuttamisessa käyttänyt seuraavien eri laitosten palveluja:

Tielaitos, Oulun tiepiiri

Tasaisuusmittaukset  
Liikenneturvallisuustiedot  
Sää- ja kelihavainnot  
Kunnossapitotoimenpiteet

VTT Rakennustekniikka Oulun toimipiste	Betonin laadun kehittyminen
VTT Yhdyskuntatekniikka Tie- ja geotekniikan laboratorio	Uramittaukset Kitkanmittaukset Valon paluuheijastuvuusmittaukset Melumittaukset
Oulun Viatek Oy	Routahavaintoihin liittyvät mittaukset Betonilaattojen liikkeiden mittaukset Valokuvatarkastelut Vaaitukset Kunto- ja vaurioinventoinnit Kuntorekisterin päivitys Seurantaraportit

### 2.3 Muut selvitykset

Tiepiirin rakennuttajaorganisaatio on tehnyt betonipäällysteen takuuajan seurantaan liittyviä selvityksiä mm. halkeilun ja saumaustyön osalta.

Betonipäällysteen rakentamisesta on Oulun teknillisessä oppilaitoksessa Tero Kouva tehnyt insinöörityön vuonna 1991. Insinöörityön aiheena oli betonipäällysteen laatuun vaikuttaneiden ulkoisten ja sisäisten tekijöiden merkityksen arviointi työmaan laaduntarkkailun, ulkoisten olosuhteiden ja todetun vaurio- ja tasaisuusinventoinnin perusteella. Insinöörityö sisältää teknisiä tietoja suunnittelu- ja rakentamisvaiheista.

### 2.4 Mittauskalusto ja mittausohjelman toteutuminen

#### Tasaisuusmittaukset

Betonitien tasaisuus on mitattu valmistumisvaiheessa Laser-tasaisuusmittauksena Oulun tiepiirin palvelutasomittauskalustolla. Seurantaohjelman mukaiset tasaisuusmittaukset on tehty 12.9.1990, 22.4.1991, 7.5.1992, 6.10.1992, 21.4.1993, 4.11.1993 ja 27.4.1994. Kesämittausta ei tehty vuonna 1991.

#### Uramittaukset

Päällysteen kulumista seurataan profilometrimittauksin. Ns. 0-mittaus tehtiin betonipäällysteen valmistuttua 15.8.1990. Varsinaiset uramittaukset on tehty 1.7.1992, 28.6.1993 ja 31.5.1994. Vuonna 1991 uramittausta ei tehty.

#### Valokuvatarkastelut

Betonitien alkuosuuden keskimääräistä suuremman kulumisen syiden selvittämiseksi on tehty neljän poikkileikkauksen valokuvaus. Valokuvista on määritetty päällysteen pinnalla näkyvien kivirakeiden suhteellinen osuus päällysteen kokonaispinta-alasta. Valokuvatarkastelut on tehty 25.8.1993 ja 31.8.1994 otetuista valokuvista.



### **Kitkaominaisuudet**

Betonipäällysteen kitkaa on mitattu kitkanmittausautolla. Kitkanmittaukset on tehty 20.8.1990, 19.3.1991 ja 27.8.1991. Vuosille 1992 ja 1994 seurantaohjelmaan sisältyviä kitkanmittauksia ei tehty.

### **Valon paluuheijastuvuus**

Valon paluuheijastuvuutta on mitattu LTL-800 Retrometer -paluuheijastuvuusmittarilla. Mittaukset tehtiin 20.8.1990. Vuodelle 1992 seurantaohjelmaan sisältyvää paluuheijastuvuuden mittausta ei tehty.

### **Melumittaukset**

Melumittaukset tehtiin ISO-standardia soveltaen. Mittaukset tehtiin 20.8.90. Vuodelle 1992 seurantaohjelmaan sisältyvää melumittausta ei tehty.

### **Betonilaattojen liikkeet**

Betonilaattojen liikkeistä tutkittiin käyristymistä ja lämpölaajenemista/-kutistumista. Tutkimukset tehtiin lämpötilamittauksin, tarkkavaaituksin ja työntömittaustulkkauksin. Mittaukset tehtiin 2.4.1991, 3.4.1991 ja 18.4.1991. Vuoden 1991 kesälle ja vuodelle 1992 seurantaohjelmaan sisältyviä mittauksia ei tehty.

### **Taipumamittaukset**

Tukikerroksena käytettävän maabetonin mahdollinen eroosio ja murtuminen johtaa betonilaattojen keinumiseen. Betonilaattojen keinumista tai siihen liittyviä vaurioita ei vuoteen 1994 mennessä ole havaittu, joten seurantaohjelmaan sisältyviä taipumamittauksia ei ole tehty.

### **Betonin laadun seuranta**

Betonipäällysteen laadun kehittymistä on seurattu päällysteestä otettujen näytteiden laboratoriotutkimuksilla. Näytteet on otettu 26.9.1990, 24.9.1991 ja 9.9.1992. Näytteistä on määritetty taivutusvetolujuus, puristuslujuus, pakkas-suolakestävyys ja tehty mikroskooppianalyysi.

### **Routahavaintoihin liittyvät mittaukset**

Routahavaintoihin liittyviä mittauksia on tehty kolmessa instrumentoidussa tiepoikkileikkauksessa betonipäällysteosuudella. Vertailupoikkileikkaus on asfalttiosuudella välittömästi betonitien eteläpuolella. Talvella 1990 - 1991 routamittaukset tehtiin alkuperäisen ohjelman mukaisesti. Vuosina 1991 - 1994 mittaukset on tehty kaksi kertaa vuodessa eli maaliskuussa ja elokuussa.

### **Vaaitukset**

Vaaitukset on tehty elektronisella takymetrikalustolla. Tien pinnan ns. 0-vaaitus tehtiin elokuussa 1990. Seuraavat vaaitukset on tehty huhtikuus-

sa 1991, syyskuussa 1991, maaliskuussa 1992, maaliskuussa 1993, elokuussa 1993 ja huhtikuussa 1994. Kesävaaituksia ei tehty vuonna 1992 ja 1994.

### **Kunto-/vaurioinventointi**

Heti betonipäällysteen rakentamisen jälkeen päällysteeseen syntyi paikoitellen halkeamia. Halkeamien syntymisen takia ensimmäinen vaurioinventointi tehtiin tien rakennusaikana. Tämän vaurioinventoinnin tekivät Oulun tiepiirin rakennuttajaorganisaatio ja Oulun Viatek Oy yhdessä. Seurantaohjelman mukaiset vaurioinventoinnit vuosina 1991, 1992 ja 1994 on tehnyt Oulun Viatek Oy.

### **Saumojen tarkastus**

Betonilaattojen väliset saumat on tarkastettu vaurioinventointien yhteydessä vuosina 1991, 1992 ja 1994.

### **Kuntorekisterin päivitys**

Vaurioinventointien ja saumojen tarkastusten tulokset on talletettu tarkoitusta varten kehitettyyn mikrotietokoneessa toimivaan Betonitien kuntorekisteriin. Kuntorekisteri on päivitetty kunkin inventointikierroksen jälkeen.

### **Kunnossapitotoimenpiteet**

Betonitiellä normaalista kunnossapitoon liittyvästä puhtaanapidosta ja liukaudentorjunnasta on huolehtinut Kempeleen tiemestaripiiri. Betonipäällysteen vaurioiden korjaamisesta ja korjauttamisesta on takuuajan puitteissa 19.11.1992 saakka huolehtinut rakennuttaja. Saumaustyön osalta takuu on ulottunut vuoteen 1993.

### **Liikenneturvallisuus**

Oulun tiepiiri saa automaattisesti tiedot poliisin tietoon tulleista liikenneonnettomuuksista. Onnettomuustiedot rekisteröidään tieosittain.

### **Sää- ja kelihavainnot**

Oulun tiepiirillä on tiesääpalveluasema betonitien kohdalla Ouluntullissa. Tiesääpalveluasema kerää sää- ja kelitiedot mm. betonipäällysteeseen asennetun anturin avulla. Rekisteröityjä kelitietoja on käyttökelpoisessa muodossa saatavissa vuoden 1992 alusta lähtien.

### **Liikennehavainnot**

Betonitien eteläpäässä on ollut vaakalaite. Vaa'an toiminnassa esiintyi katkoksia ja tuloksissa epätarkkuutta. Vaakalaite poistettiin vuonna 1993.

Liikennemäärät rekisteröidään tierakenteeseen asennettujen induktiosilmukoiden avulla.



### 3 SEURANTATULOKSET

#### 3.1 Mittaustulokset

##### 3.1.1 Tasaisuusmittaukset

Päällysteen tasaisuus on mitattu palvelutasomittausautolla Laser-tasaisuusmittauksena. Laite mittaa tien pituusprofiiliin, josta voidaan laskea erilaisia tien kuntoa ilmaisevia pituussuuntaisen tasaisuuden tunnuslukuja. Ajomukavuusepätasaisuuden tunnuslukuna käytetään kansainvälistä IRI-arvoa (International Roughness Index). IRI-mittauksen tulos on se liike, joka ajoneuvossa tapahtuu korin ja akselin välillä ajettaessa epätasaisella tiellä. IRI-arvo kuvaa autoilijan ajomukavuutta. IRI on sovitettu vastaamaan nykyisten henkilöautojen ominaisuuksia ja laskennallinen ajonopeus on 80 km/h. IRI-arvon yksikkönä käytetään mm/m tai m/km. IRI-lukuarvo 1 mm/m merkitsee sitä, että 100 m:n tulostusmatkalla auton rungon ja akselin välisten liikkeiden summa on  $100\text{ m} \cdot 1\text{ mm/m} = 100\text{ mm}$ .

Uusien päällysteiden laadunarvostelussa käytetään IRI4-arvoa. IRI4-arvossa tien pituussuuntaisesta profiilista on suodatettu pois yli 4 m:n aallonpituudet. Päällysteurakassa IRI4-tasaisuusvaatimukseksi oli asetettu 1,4 mm/m, joka keskimäärin saavutettiin.

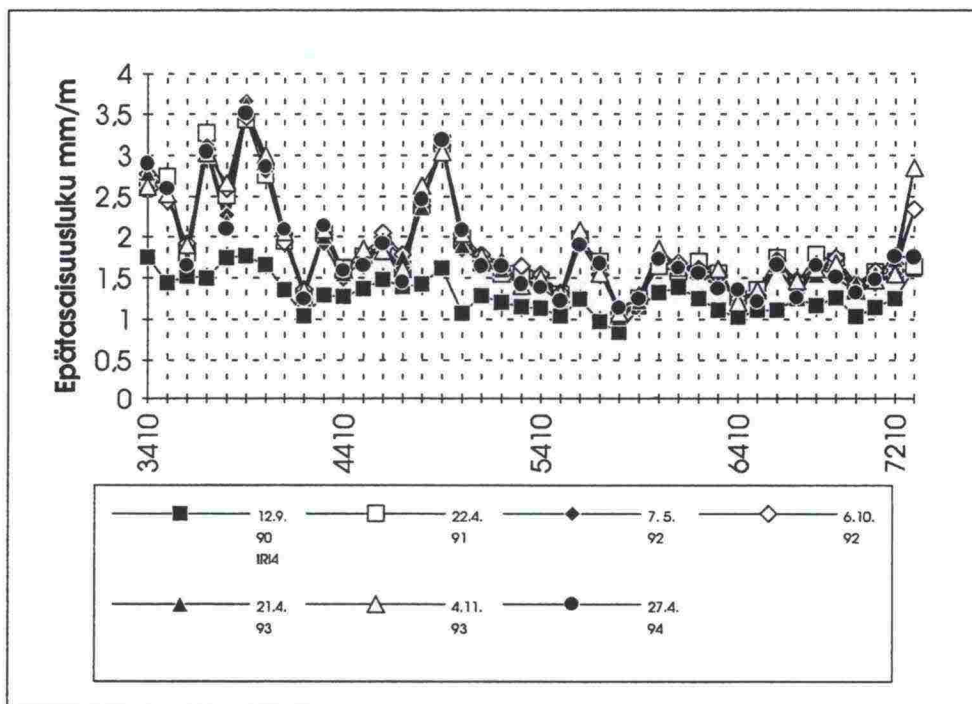
Betonipäällysteen tasaisuus on kehittynyt odotetusti. Tien valmistumisvaiheessa ollut epätasaisuus on pienentynyt sementtiliiman pintakulumisen seurauksena. Keskimääräinen IRI-arvo on tällä hetkellä molemmilla kaistoilla noin 1,8 mm/m.

Tasaisuusmittausten IRI-keskiarvojen kehittyminen ajokaistoittain on esitetty taulukossa 1.

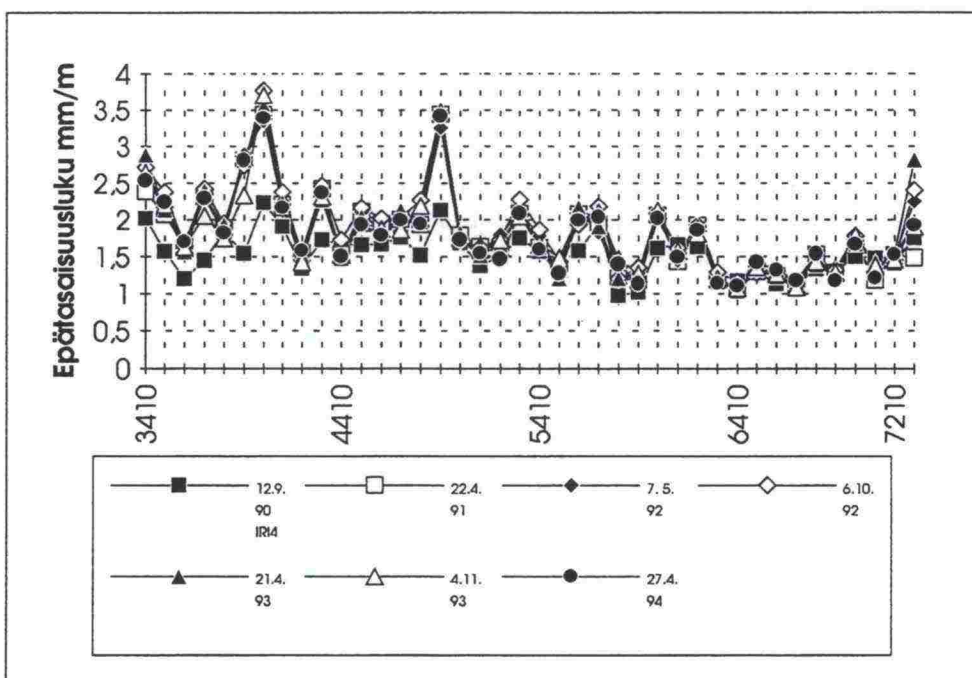
*Taulukko 1: Betonitien tasaisuusmittaustulosten keskiarvot ajokaistoittain*

	Vasen kaista		Oikea kaista	
	IRI mm/m		IRI mm/m	
	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli
12.9.1990 (IRI4)	1,55	0,98...2,23	1,28	0,83...1,77
22.4.1991	1,80	1,06...3,44	1,85	1,02...3,43
7.5.1992	1,88	1,07...3,39	1,84	1,03...3,66
6.10.1992	1,90	1,13...3,77	1,89	1,13...3,46
21.4.1993	1,87	1,02...3,63	1,86	1,05...3,56
4.11.1993	1,90	1,08...3,57	1,83	1,08...3,71
27.4.1994	1,82	1,13...3,51	1,81	1,11...3,42

Vuosina 1990 - 1994 tehtyjen betonitien tasaisuusmittausten yksityiskohtaiset tulokset on esitetty kuvissa 2 ja 3. Taulukoissa ja kuvissa päällysteen valmistumisvaiheen eli vuoden 1990 tulokset ovat IRI4-arvoja. Vuodesta 1991 lähtien esitetyt tulokset ovat IRI-arvoja.



Kuva 2: Betonitien tasaisuusmittaukset 1990 - 1994, oikea kaista



Kuva 3: Betonitien tasaisuusmittaukset 1990 - 1994, vasen kaista

### 3.1.2 Uramittaukset

Tien päällysteen kulumista seurataan mittaamalla tien pinnan poikkisuuntaisen profiilin kehittymistä. Mitatut poikkileikkaukset ovat noin sadan metrin välein. Mittauskohdat on merkitty päällysteeseen Hilti-nauloilla, joten mittaus voidaan joka kerta kohdistaa tarkalleen samalle paikalle. Mittaukset



on tehty koko betonipäälysteen osuudella. Vertailumittaukset on tehty AB/SMA-päälysteisillä osuuksilla betonitien kummassakin päässä.

Betonitien pohjoispäässä vertailuosuudella oli bitumisorapapäälyste tien ensimmäisen käyttötälven 1990/1991. SMA-päälyste rakennettiin kesällä 1991. Tällä osuudella varsinainen 0-mittaus on tehty vuonna 1993 ja vertailumittaustuloksia on käytettävissä vuodelta 1994.

Kesällä 1990 betonitien eteläpäähän noin 100 m:n matkalle rakennettiin bitumisorakerros ja väliaikaiseksi tarkoitettu AB-päälyste, jotta vaakalaite pystyttiin asentamaan tarkalleen oikeaan korkeusasemaan lopulliseen SMA-päälysteeseen nähden. AB-päälystettä ei kuitenkaan korvattu SMA-päälysteellä ennen tien käyttöönottoa. Niinpä 0-mittaus ja vertailumittaukset on tehty paikoilleen jääneen AB-päälysteen päältä vuoteen 1994 saakka, jolloin betonitien eteläpään vertailuosuudelle rakennettiin SMA-päälyste.

Betonitien eteläpäässä AB-päälyste tehtiin 0...20 mm:n raekoon murske-sorasta. Vertailuosuuksille levitetty SMA-päälyste on vuosina 1991 ja 1994 tehty lähes samalla suhteituksella. SMA-päälysteessä runkoaineena on käytetty Outokummun Tornion terästehtaan 0...3 mm:n tai 0...5 mm:n raekoon teräskuonaa ja 10...18 mm:n raekoon kuonamursketta. Lisäksi on käytetty 0...16 mm:n raekoon kalliomursketta. Vuonna 1991 kalliomurske tuli Kuivaniemestä samasta paikasta kuin betonipäälysteen runkoaines. Vuonna 1994 kalliomurske tuli Haukiputaan Kalliosuolta.

Tien poikkiprofiilin mittaukset tehdään paksuusprofilometrilla. Laitteeseen kuuluu päätytuet, mittavaunu, palkki, tiedonkeruulaite, piirturi ja virranmuunnin. Mittauksen aikana mittavaunussa oleva mittapää liikkuu tien pinnalla päätytukien varassa olevaa palkkia pitkin. Mittapää kerää tietoja tien pinnan korkeusasemasta mittauspalkkiin nähden. Tieto siirretään sähköisesti tiedonkeruulaitteeseen ja piirturilla piirretään mitattu tien pinnan profiili. Profilometrilla saadaan tiepoikkileikkauksesta jatkuva profiili. Profilometrilla voidaan mitata 4 m leveä kaista kerrallaan. Verrattaessa eri ajankohtina tehtyjen mittausten tuloksia saadaan uran muodon ja uran poikkipinta-alan muutoksen kehittyminen selville.

Betonitien ja vertailuosuuden AB/SMA-päälysteen profiilimittaustulokset on esitetty taulukoissa 2 ja 3 erikseen eri ajokaistoilta.

Mittaustulosten perusteella betonipäälyste on oikean kaistan kohdalla paaluvälillä 3400 - 3700 kulunut keskimääräistä enemmän. Tällä paaluvälillä kokonaispoikkipinta-alan muutos on keskimäärin 189 cm<sup>2</sup> ja keskimääräinen maksimi urasyvyys 13,2 mm.

Koko betonipäälysteen osuudella kokonaispoikkipinta-alan muutos on keskimäärin 108 cm<sup>2</sup> ja keskimääräinen maksimi urasyvyys 6,0 mm.

Vertailukohteena käytetyllä eteläpään AB-osuudella kokonaispoikkipinta-alan muutos on keskimäärin 328 cm<sup>2</sup> ja keskimääräinen maksimi urasyvyys 14,4 mm. Vertailukohteena käytetyllä pohjoispään SMA-osuudella kulumisen on vastannut normaalia yhden vuoden kulumiskehitystä.

## SEURANTATULOKSET

Taulukko 2: Profiilimittaustulokset 1.7.1992, 28.6.1993 ja 31.5.1994, vasen kaista

Paalu	Laatta n:o	Reunaura			Keskiura			Poikkipinta-alan			Huom!
		Maximi syvyys			Maximi syvyys			muutos			
		mm			mm			cm2			
		1.7.-92	28.6.-93	31.5.-94	1.7.-92	28.6.-93	31.5.-94	1.7.-92	28.6.-93	31.5.-94	
3320		8	12	14	11	16	20	158	68	38	Asf.
3338		6	10	12	12	15	19	150	68	40	Asf.
3356		5	8	10	9	12	15	166	70	34	Asf.
3374		5	8	11	7	10	12	206	78	64	Asf.
3392		5	8,5	11	10	12	14	204	74	60	Asf.
	keskiarvo	5,8	9,3	11,6	9,8	13	16	176,8	71,6	47,2	
	keskihajonta	1,3	1,7	1,5	1,9	2,4	3,4	26,4	4,3	13,8	
7346				11			9			30	SMA
7410				10			8			24	SMA
	keskiarvo			10,5			8,5			27	
3420	1/2	1	3	4	3	6	6	82	30	16	
3520	43/44	1	2	2	3	6	7	58	40	8	
3620	83/84	1	3	5	5	8	10	70	38	16	
3720	123/124	5	5	6	4	7	9	82	36	20	
3820	163/164	2	3,5	5	3	4	4	58	38	8	
3920	203/204	4	6	8	3	4	5	70	36	8	
4020	245/246	4	5	7	3	6	8	68	40	12	
4120	285/286	3	4,5	6	3	4	6	64	26	4	
4220	325/326	3	5	5	3	5	6	50	36	0	
4320	365/366	2	4	5	3	3,5	4	60	38	4	
4420	405/406	3	2	3	2	3,5	4	56	32	6	
4520	445/446	1	2	2	2	3	5	56	24	8	
4620	485/486	1	3,5	3	3	3,5	4	50	36	0	
4720	525/526	4	5	5	3	4,5	5	84	26	4	
4820	565/566	4	5,5	5	4	5,5	6	52	30	0	
4920	605/606	2	4	4	4	6,5	6	70	36	0	
5025	649/650	2	4	4	5	6	7	64	36	0	
5115	685/686	3	6,5	6	4	7	7	72	40	6	
5220	727/728	3	4,5	5	4	6	7	74	30	8	
5320	767/768	3	4,5	6	4	5	5	46	36	10	
5420	807/808	3	4	6	7	8	9	74	42	10	
5520	847/848	6	8	8	4	6	7	80	36	0	
5615	885/886	6	8	9	7	11	11	80	32	0	
5715	925/926	5	7,5	8	7	9	11	78	34	2	
5815	965/966	2	5	5	4	5,5	7	68	40	4	
5915	1005/1006	4	4,5	7	4	6	6	56	40	4	
6015	1045/1046	5	7	8	4	7	7	50	38	0	
6115	1085/1086	2	3,5	4	2	3,5	5	43	34	4	
6215	1125/1126	1	3	4	4	5	6	70	30	8	
6315	1165/1166	2	3,5	5	5	3,5	7	66	34	4	
6415	1205/1206	2	5	6	3	4	4	52	30	4	
6515	1245/1246	2	4	5	4	6	7	66	38	6	
6615	1285/1286	3	4	5	4	5,5	6	92	38	12	
6715	1325/1326	2	3	5	5	6	7	60	36	2	
6815	1365/1366	3	5,5	6	4	6	7	62	32	6	
6910	1403/1404	2	4,5	6	4	4	5	54	40	8	
7010	1443/1444	4	5	5	2	4,5	6	72	32	2	
7110	1483/1484	4	5,5	6	4	6	7	64	34	2	
7210	1523/1524	4	6,5	8	7	10	11	78	34	6	
7310	1563/1564	2	3,5	6	3	6	9	82	46	20	
keskiarvo		2,9	4,6	5,5	3,9	5,8	6,6	65,8	35,1	6,1	
keskihajonta		1,4	1,5	1,6	1,3	1,8	1,9	11,9	4,6	5,3	

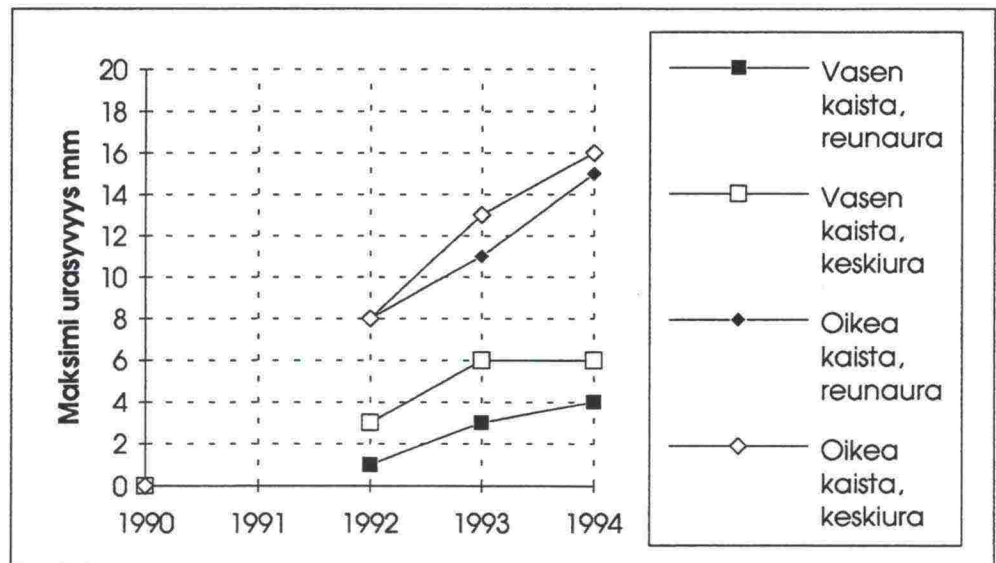


Taulukko 3: Profiilimitaustulokset 1.7.1992, 28.6.1993 ja 31.5.1994, oikea kaista

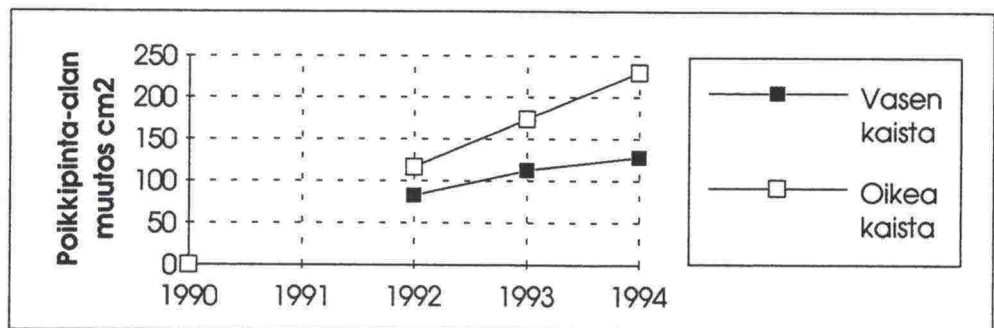
Paalu	Laatta n:o	Reunaura			Keskiura			Poikkipinta-alan			Huom!
		Maximi syvyys			Maximi syvyys			muutos			
		mm			mm			cm2			
		1.7.-92	28.6.-93	31.5.-94	1.7.-92	28.6.-93	31.5.-94	1.7.-92	28.6.-93	31.5.-94	
3320		9	14	14	8	10	12	218			Asf.
3338		10	19	19	9	13	18	202	96	48	Asf.
3356		8	14	18	8	13	16	246	106	28	Asf.
3374		12	18	18	9	15	17	212	88	20	Asf.
3392		11	17	17	11	17	19	300	102	14	Asf.
	keskiarvo	10	16,4	17,2	9,3	13,6	16,4	235,6	98	27,5	
	keskihajonta	1,6	2,3	1,9	1,3	2,6	2,7	39,5	7,8	14,8	
7346				3			8			6	SMA
7410				6			8			38	SMA
7460				4			7			34	SMA
	keskiarvo			4,3			7,7			26	
3420	1/2	8	11	15	8	13	16	116	58	56	
3520	43/44	6	9,5	12	9	13	12	108	40	26	
3620	83/84	6	8	10	8	13	14	102	40	22	
3720	123/124	2	4	6	5	6,5	8	84	46	16	
3820	163/164	4	6	8	5	6	9	82	36	16	
3920	203/204	3	5,5	8	5	6	8	82	30	10	
4020	245/246	4	5,5	7	6	9	10	86	38	10	
4120	285/286	4	5,5	7	10	16	18	102	42	6	
4220	325/326	2	5	6	4	5,5	6	78	24	8	
4320	365/366	4	6	6	3	4	5	54	26	0	
4420	405/406	5	5,5	5	4	4,5	6	68	26	2	
4520	445/446	1	3	3	2	4	5	50	24	0	
4620	485/486	4	4,5	5	3	4	5	56	32	6	
4720	525/526	2	2,5	3	3	6	6	54	28	6	
4820	565/566	2	4	4	3	4,5	4	60	32	18	
4920	605/606	4	5,5	6	3	5	4	64	30	0	
5025	649/650	3	4,5	6	5	6	7	56	24	12	
5115	685/686	2	3	3	3	4	4	40	26	2	
5220	727/728	1	2	2	2	2,5	3	56	30	16	
5320	767/768	2	3	4	3	5,5	6	62	36	20	
5420	807/808	3	3	4	4	5	5	44	22	14	
5520	847/848	3	4,5	6	4	5	5	54	26	20	
5615	885/886	3	5	5	3	4	6	50	30	18	
5715	925/926	5	5	6	4	5	6	58	26	18	
5815	965/966	2	4	3	3	4	4	64	32	10	
5915	1005/1006	3	4	4	4	5	4	46	26	16	
6015	1045/1046	3	4	4	4	4	3	44	26	10	
6115	1085/1086	2	4	4	3	3,5	4	46	30	2	
6215	1125/1126	3	3	3	4	4,5	4	54	30	8	
6315	1165/1166	3	4	4	2	3,5	3	50	36	6	
6415	1205/1206	4	4,5	5	4	4,5	5	64	28	4	
6515	1245/1246	2	3	4	4	4,5	5	58	34	20	
6615	1285/1286	4	4,5	5	5	6,5	6	54	30	14	
6715	1325/1326	5	5,5	7	5	7	9	56	34	6	
6815	1365/1366	3	3,5	5	5	5	6	72	34	12	
6910	1403/1404	3	4	4	3	3,5	3	56	36	10	
7010	1443/1444	2	3	3	3	4	4	52	28	18	
7110	1483/1484	4	3,5	5	4	4,5	5	60	34	12	
7210	1523/1524	2	2,5	2	5	5,5	7	64	28	14	
7310	1563/1564	4	5	7	6	8	8	62	28	18	
	keskiarvo	3,3	4,6	5,4	4,3	5,9	6,5	64,2	31,6	12,6	
	keskihajonta	1,4	1,8	2,6	1,8	3	3,4	18,3	6,9	9,7	

Maksimi reuna- ja keskiuran syvyydet ajokaistoittain sekä poikkileikkauspinta-alan muutokset paalujen 3420, 3620, 4220 ja 6415 kohdilla eri ajankohdina on esitetty kuvissa 4 - 11. Maksimi urasyvyys on mitattu paksuusprofilometrillä ja se osoittaa uran pohjan asemaa alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna.

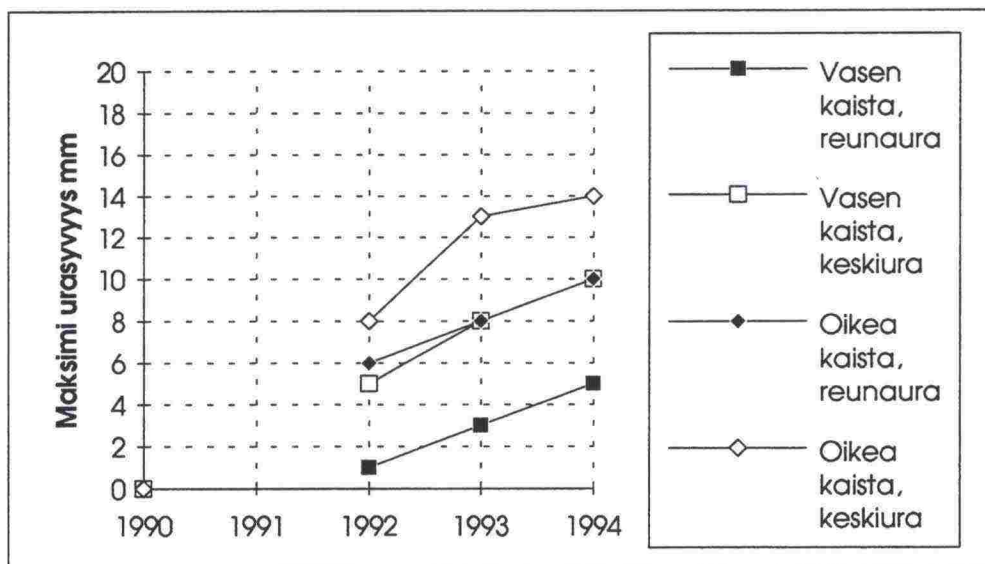
Poikkileikkauspinta-alan muutos on laskettu profilometrimittaus tuloksien perusteella piirretyistä poikkileikkauspiirroksista. Poikkileikkauspinta-alan muutos ei ole suoraan verrannollinen maksimi urasyvyyteen. Poikkileikkauspinta-alan muutos kuvaa kulumisen kokonaismäärää koko ajokaistan poikkileikkauksen alueella. Taulukoissa 2 ja 3 poikkileikkauspinta-alan muutos on esitetty vertailuna edelliseen mittaukseen. Kuvissa 5, 7, 9 ja 11 poikkileikkauspinta-alan muutos on esitetty kumulatiivisesti ajan funktiona.



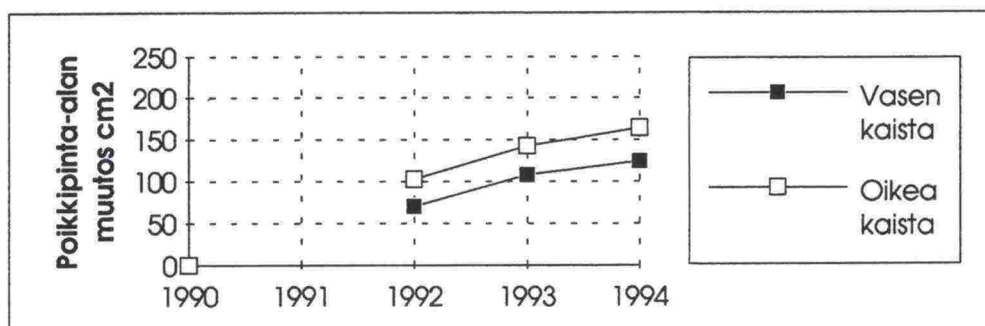
Kuva 4: Maksimi urasyvyys, pl 3420



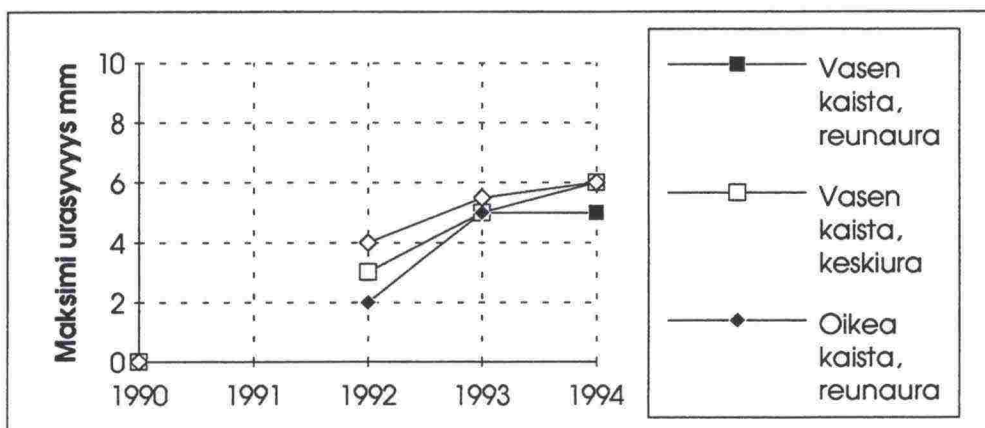
Kuva 5: Poikkileikkauspinta-alan muutos, pl 3420



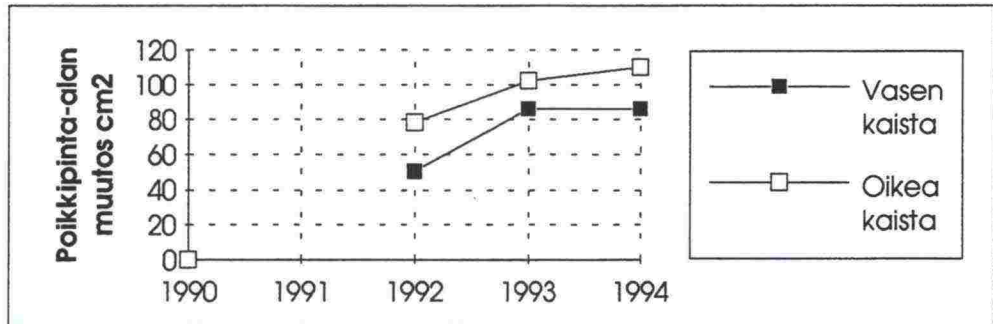
Kuva 6: Maksimi urasyvyys, pl 3620



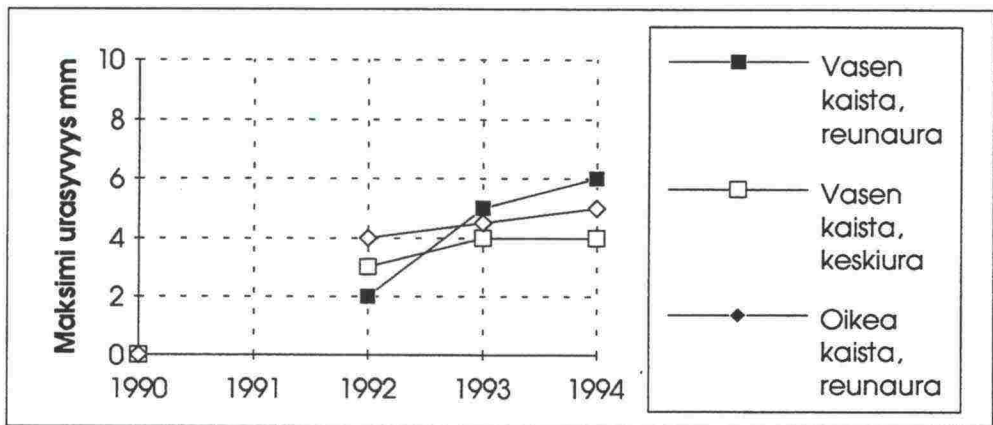
Kuva 7: Poikkileikkauspinta-alan muutos, pl 3620



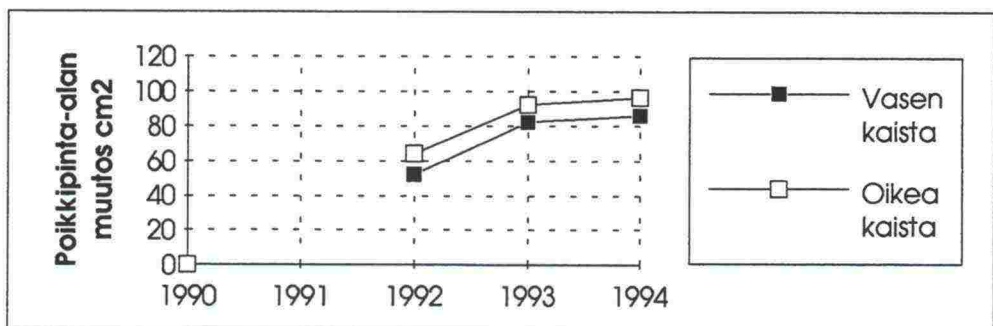
Kuva 8: Maksimi urasyvyys, pl 4220



Kuva 9: Poikkileikkauspinta-alan muutos, pl 4220



Kuva 10: Maksimi urasyvyys, pl 6415



Kuva 11: Poikkileikkauspinta-alan muutos, pl 6415

Betonipäällysteen alkuosuuden oikean kaistan keskimääräistä suurempaan kulumiseen johtaneista syistä keskusteltiin 22.10.1992 pidetyssä neuvottelussa, johon osallistui ko. hankeorganisaatioon kuuluvia, seurannassa mukana olleita sekä BETTIE-ryhmän asiantuntijoita. Neuvottelun johtopäätöksissä todettiin:



*Betonitien alkuosuudella oikean kaistan keskimääräistä suurempi urautuminen on seurausta kiviaineksen lajittumisesta ja siitä johtuvasta huonosta kulutuskestävyydestä.*

- \* Levitystyön aikana painava karkein kiviaines on painunut runsaan vibrauksen takia päällystekerroksen alaosaan. Yläpinnassa on vähäisessä määrin karkeaa ainesta ja runsaasti sementtiliimaa. Pintakerroksella ei ole vaadittavaa kulutuskestävyyttä koska massa ei ole tasalaatuista.
- \* Vesi/sementti-suhdetta ja kuona/sementti-suhdetta muutettiin usein työn alkuvaiheessa.
- \* Kosteuden vaikutuksesta urautuminen on tällä osuudella ollut nopeampaa ja keskimääräistä suurempaa kuin muualla.

*Päällystystyö aloitettiin nimenomaan nyt urautuneesta kohdasta.*

- \* Alkuhankaluutena oli mm. betoniaseman sisäänajo. Täyspaksun päällystebetonin koeveto jäi tekemättä. Levitin toimi hyvin 12 cm paksulla maabetonimassalla, mutta 22 cm paksulla päällystebetonilla levitystyö oli aluksi ongelmallista.

*Jälkihoito oli huonompi työn alkuvaiheessa kuin myöhemmin.*

- \* Jälkihoidon työmenetelmä kehittyi työn aikana. Aluksi käytettiin pelkkää jälkihoitoainetta, myöhemmin lisäksi muovi- ja jutekan-gassuojausta. Vallinnut säätila oli kuiva ja tuulinen työn alkuvaiheessa. Loppuvaiheessa sade auttoi jälkihoidon onnistumista. Massan ja ilman lämpötila oli alhainen työn alkaessa. Sitoutuminen alkoi hitaasti.

### 3.1.3 Valokuvatarkastelut

#### Yleistä

Valokuvatarkasteluilla on haluttu selvittää ja vertailla, mikä on betonipäällysteen pinnassa näkyvän runkoaineksen ja erityisesti karkeamman 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen suhteellinen osuus tien eri poikkileikkauksissa ja poikkileikkausten eri osissa. Erityisesti haluttiin selvittää betonipäällysteen alkuosalla keskimääräistä enemmän kuluneella alueella päällysteen pinnassa näkyvän 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen suhteellinen osuus ajouran pohjalla ja ajouran vieressä.

Tutkimuskohteet paaluilla 3420, 3440 ja 3620 sijaitsevat keskimääräistä enemmän kuluneella betonitien alkuosuudella. Päällysteen pinta on silmämääräisesti arvioiden erilaista kuin normaalisti kuluneella osuudella. 8...32 mm:n raekoon runkoainesta ei juurikaan näy päällysteen pinnassa. Myös päällysteen keski- ja alaosista tutkituissa sahauspinnoissa 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen osuus on silmämääräisesti arvioiden suhteellisen vähäinen.

Talven 1992/1993 aikana päällyste on kulunut vasemman kaistan ajourien kohdalla 1,0...3,0 mm/vuosi ja oikean kaistan ajourien kohdalla 2,0...5,0 mm/vuosi. Talven 1993/1994 aikana päällyste on kulunut vasemman kais-

tan ajourien kohdalla 0...2,0 mm/vuosi ja oikean kaistan ajourien kohdalla 1,0...4,0 mm/vuosi. Maksimi urasyvyys poikkileikkausten eri kohdissa on kesällä 1994 4,0...16,0 mm.

Tutkimuskohteet paaluilla 4220, 6415 ja 7055 sijaitsevat normaalisti kulu-neella osuudella. Erikokoisia runkoainesrakeita näkyy tasaisesti ja katta-vasti päälysteen pinnalla. Päälysteen kuluminen on pinnan sementtiliiman alkukuluminen jälkeen ajourien kohdalla vuoteen 1993 saakka ollut 0,5...2,0 mm/vuosi ja talvikaudella 1993/1994 0...1,0 mm/vuosi. Maksimi urasyvyys poikkileikkausten eri kohdissa on kesällä 1994 4,0...6,0 mm.

Halkaisijaltaan 16 mm:n rakeen keskimääräisen maksimi poikkipinta-alan on arvioitu olevan noin 200 mm<sup>2</sup>. Valokuvista on laskettu poikkipinta-alal-taan yli 200 mm<sup>2</sup>:n diabaasirakeiden lukumäärä ja suhteellinen osuus kai-kista näkyvistä diabaasirakeista.

Tutkimusten välitulosten perusteella päätettiin selvittää runkoaineen jakau-maa myös betonilaatan syvyysuunnassa. Käytettävissä oli VTT:n vuonna 1992 muiden tutkimusten yhteydessä ottamia koekappaleita paaluilta 3440 ja 7055.

#### Päälystebetonin aineosat ja suhteitus

Betonipäälysteessä 16...32 mm:n raekoon runkoaineena käytettiin tum-maa Hoikkakallion diabaasia Kuivaniemeltä. Vaaleampi 0...8 mm:n rae-koon kiviaines tuli Yli-lin Tannilasta. Betonin suhteitusta muutettiin työn ai-kana. Taulukossa 4 on esitetty käytettyjen runko- ja sideaineiden jakauma paalujen 3420, 3440, 3620, 4220, 6415 ja 7055 kohdilla.

*Taulukko 4: Päälystebetonin aineosat ja suhteitus tutkimuspoikki-leikkauksissa*

Paalu	Runko- aines 0...8 mm	Runko- aines 8...16 mm	Runko- aines 16...32 mm	Sementti kg/m <sup>3</sup>	Masuuni- kuona kg/m <sup>3</sup>	Lisäaine
3420 3440	43 %	24 %	33 %	190	190	Nesteytin 1 %
3620	43 %	24 %	33 %	285	95	Nesteytin 1 %
4220	45 %	24 %	31 %	380	0	Nesteytin 0,15 % Tehonotkistin 0,15 %
6415 7055	45 %	24 %	31 %	400	0	Nesteytin 0,15...0,3 % Tehonotkistin 0,15...0,3 %

#### Tehdyt tutkimukset

Päälysteen pinnan valokuvauksen yhteydessä päälystettä ei rikottu eikä muutointaan käsitelty. Betonipäälyste valokuvattiin neljässä poikkileikka-uksessa, jotka sijaitsevat paalulukemien 3420, 3620, 4220 ja 6415

kohdilla. Valokuvaus tehtiin kussakin poikkileikkauksessa laatan pohjois-reunalta 300 mm x 300 mm ruutuihin. Valokuvien rajaukseen käytettiin tar-koitusta varten tehtyä sapluunaa. Kustakin poikkileikkauksesta otettiin 30 valokuvaa. Valokuvat on numeroitu siten, että numero 01 on tien poikkileik-kauksen vasemmassa reunassa ja numero 30 oikeassa reunassa. Valoku-



vattavat poikkileikkaukset valittiin siten, että samasta kohdasta tai samasta laatasta on käytettävissä profilometrillä tehtyjen uramittausten tulokset.

Vuonna 1993 valokuvatuista poikkileikkauksista valittiin 17 yksittäistä kuvaa jotka suurennettiin. Suurennettavat valokuvat valittiin siten, että kustakin poikkileikkauksesta oli vähintään yksi kuva ajouran kohdalta kuluneimmalta alueelta ja yksi kuva ajouran ulkopuolelta vähemmän kuluneelta alueelta.

Vuonna 1994 valokuvatuista poikkileikkauksista valittiin 8 yksittäistä kuvaa, jotka suurennettiin. Suurennettavat valokuvat valittiin siten, että ne vastasivat vuoden 1993 suurennoksia ja että kustakin poikkileikkauksesta oli vähintään yksi kuva ajouran kohdalta kuluneimmalta alueelta. Suurennettavien ja tutkittavien valokuvien määrää vähennettiin, koska kuluminen keskittyy ajourien kohdalle, eikä ajourien välialueilla ole tapahtunut merkittäviä muutoksia valokuvausten välillä.

Käytettävissä olleet VTT:n vuonna 1992 ottamat koekappaleet sahattiin timanttisahalla päällysteen pinnan suuntaisesti kuuteen osaan. Sahatuista kappaleista valittiin 5 edustavaa pintaa eri syvyyksiltä valokuvausta ja yksityiskohtaisempaa tutkimusta varten. Valokuvien rajaukseen käytettiin tarkoitusta varten tehtyä 90 mm x 90 mm sapluunaa. Otetut valokuvat suurennettiin.

Kaikista suurennetuista valokuvista digitoidut kuvat skaalattiin mittakaavaan 1:1. Luonnolliseen kokoon skaalatuista kuvista laskettiin ja mitattiin tummien diabaasimurskerakeiden lukumäärät ja pinta-alat.

### **Tutkimustulokset poikkileikkauksittain**

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty kesällä 1993 profilometrillä mitattu uran maksimisyyvyys kunkin päällysteen pinnasta otetun valokuvan kohdalla, sekä valokuvista tehtyjen mittausten tulokset. Taulukossa 7 on esitetty vastaavat tulokset kesällä 1994 tehdyistä mittauksista. Päällysteen pinnassa näkyvissä olevien yksittäisten 8...32 mm:n raekoon diabaasimurskerakeiden lukumäärä ja poikkipinta-alojen suhteellinen osuus on laskettu kustakin 300 mm x 300 mm kuvasta.

#### Poikkileikkaukset paaluilla 3420 ja 3620

##### **Tilanne kesällä 1993**

Ajourien kohdalla betonin pinta on kulunut 3...13 mm. Ajourien pohjalla näkyvä 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen osuus on 14 - 20 %. Ajourien pohjalla päällysteen pinnassa näkyy vain jonkin verran enemmän 8...32 mm:n raekoon runkoainesta kuin ajourien ulkopuolella. Näkyvissä olevat karkeammat rakeet sijaitsevat lisäksi epätasaisesti. Laajoilla alueilla päällysteen pintaa peittää vain hienoimman runkoaineksen ja sementtiliiman seos. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden lukumäärä on suhteellisen pieni eli 15...30 kpl/9 dm<sup>2</sup>. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus 8...32 mm:n raekoon runkoaineksesta on 50 - 62 %.

Ajourien ulkopuolella päällyste on kulunut 1...2 mm. Näillä alueilla näkyvissä olevan 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen osuus on 7 - 11 %, yhdessä kuvassa vain 2,9 %. Suurinta osaa päällysteen pinnasta peittää hienoimman runkoaineksen ja sementtiliiman seos. Poikkipinta-alaltaan yli 200

mm<sup>2</sup>:n rakeiden lukumäärä on erittäin pieni eli 2...3 kpl/9 dm<sup>2</sup>. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus 8...32 mm:n raekoon runkoaineksesta on 20 - 42 %.

Tilanne kesällä 1994

Ajourien kohdalla päällyste on vuoden aikana kulunut vasemman kaistan kohdalla yhden millimetrin ja oikean kaistan alueella 3...4 mm. Kulumisen seurauksena päällysteen pinnalla näkyvien yksittäisten 8...32 mm:n raekoon diabaasirakeiden kokonaislukumäärä on kasvanut vaihtelevasti eli 6 - 35 %. Karkeimpien, halkaisijaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n diabaasirakeiden lukumäärä on kuitenkin säilynyt lähes entisellään eli suhteellisen pienenä.

#### Poikkileikkaus paalulla 4220

Tilanne kesällä 1993

Ajourien kohdalla betonin pinta on kulunut 3...5 mm. Urien pohjalla näkyvä 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen osuus on noin 32 %. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden lukumäärä on 41...43 kpl/9 dm<sup>2</sup>. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus 8...32 mm:n raekoon runkoaineksesta on 50 - 55 %. Karkeampi runkoaines on suhteellisen tasaisesti jakaantunut.

Ajourien ulkopuolella betonin pinta on kulunut noin yhden millimetrin. Näillä alueilla näkyvissä olevan 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen osuus on 30 - 33 %. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden lukumäärä on 27...43 kpl/9 dm<sup>2</sup>. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus 8...32 mm:n raekoon runkoaineksesta on 29 - 47 %.

Tilanne kesällä 1994

Vasemman kaistan keskiuran kohdalla päällyste on vuoden aikana kulunut yhden millimetrin. Kulumisen seurauksena päällysteen pinnalla näkyvien yksittäisten 8...32 mm:n raekoon diabaasirakeiden kokonaislukumäärä on kasvanut 22 %. Karkeimpien, halkaisijaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n diabaasirakeiden lukumäärä on kuitenkin säilynyt entisellään.

#### Poikkileikkaus paalulla 6415

Tilanne kesällä 1993

Ajourien kohdalla betonin pinta on kulunut noin neljä millimetriä. Urien pohjalla näkyvä 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen osuus on noin 30 %. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden lukumäärä on 40 kpl/9 dm<sup>2</sup>. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus 8...32 mm:n raekoon runkoaineksesta on 49 %.

Ajourien ulkopuolella betonin pinta on kulunut noin yhden millimetrin. Näillä alueilla näkyvissä olevan 8...32 mm:n raekoon runkoaineksen osuus on noin 24 %. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden lukumäärä on 27 kpl. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus 8...32 mm:n raekoon runkoaineksesta on 43 %.

Tilanne kesällä 1994

Päällysteen pinnalla näkyvien yksittäisten 8...32 mm:n raekoon diabaasirakeiden kokonaislukumäärä on vuoden aikana kasvanut 16 %. Karkeimpien,



halkaisijaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n diabaasirakeiden lukumäärä on kasvanut samassa suhteessa. Päällysteen pinta on silmämääräisesti arvioiden epätasainen. Näkyvien diabaasirakeiden kokonaislukumäärän kasvu on todennäköisesti seurausta sementtiliiman kulumisesta karkeimpien rakeiden välisellä alueella. Poistuneen sementtiliiman alta on paljastunut uusia diabaasirakeita. Koska karkeat, kulutusta kestävät diabaasirakeet kattavat suhteellisen hyvin ja tasaisesti päällysteen pinnan, ei sementtiliiman kulumista profilometrimittauksilla ole voitu havaita.

**Taulukko 5:** *Urasyyvyys ja betonipäällysteen pinnalta otetuista 300 mm x 300 mm kuvista tehtyjen mittausten tulokset kesällä 1993, pl 3420 ja pl 3620*

Kuvan numero	Kuvan sijainti tien poikkileikkauksessa	Urasyyvyys kuvan kohdalla mm	Yksittäisten 8...32 mm:n raekoon diabaasirakeiden osuus: lukumäärä/ diabaasirakeiden poikkipinta-alan osuus kuvan kokonaispinta-alasta	Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm <sup>2</sup> :n diabaasirakeiden osuus: lukumäärä/ osuus diabaasirakeiden kokonaispinta-alasta
<b>Paalu 3420</b>				
vasen kaista	5 RU pohja	3	93 kpl / 16,4 %	24 kpl / 58,1 %
vasen kaista	7 RU/KU välialue	1	91 kpl / 10,5 %	10 kpl / 42,2 %
vasen kaista	10 KU pohja	5	94 kpl / 13,7 %	15 kpl / 50,2 %
oikea kaista	21 KU pohja	13	107 kpl / 14,0 %	17 kpl / 49,5 %
oikea kaista	23 KU/RU välialue	1	86 kpl / 8,5 %	11 kpl / 42,3 %
oikea kaista	25 RU pohja	11	119 kpl / 19,9 %	26 kpl / 58,3 %
oikea kaista	28 RU reuna-alue	1	37 kpl / 2,9 %	2 kpl / 20,3 %
<b>Paalu 3620</b>				
vasen kaista	6 RU/KU välialue	1	62 kpl / 7,3 %	6 kpl / 24,2 %
vasen kaista	9 KU pohja	8	98 kpl / 15,2 %	15 kpl / 52,7 %
oikea kaista	24 RU reuna-alue	2	83 kpl / 10,7 %	13 kpl / 40,7 %
oikea kaista	26 RU pohja	8	94 kpl / 19,8 %	30 kpl / 61,6 %

**Taulukko 6:** *Urasyvyys ja betonipäälysteen pinnalta otetuista 300 mm x 300 mm kuvista tehtyjen mittausten tulokset kesällä 1993, pl 4220 ja pl 6415*

	Ku- van nu- mero	Kuvan sijainti tien poikkileik- kauksessa  RU reuna- KU keskiura	Urasyvyys kuvan koh- dalla mm	Yksittäisten 8...32 mm:n raekoon dia- baasirakeiden osuus: lukumäärä / diabaasi- rakeiden poikkipinta- alan osuus kuvan ko- konaispinta-alasta	Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm <sup>2</sup> :n dia- baasirakeiden osuus: lukumäärä / osuus diabaasirakeiden ko- konaispinta-alasta
<b>Paalu 4220</b>					
vasen kaista	9	KU reuna-alue	1 ⇒ 4	210 kpl / 32,6 %	43 kpl / 46,6 %
vasen kaista	10	KU pohja	5	190 kpl / 32,2 %	43 kpl / 54,5 %
oikea kaista	22	KU pohja	5	216 kpl / 31,8 %	41 kpl / 50,0 %
oikea kaista	24	KU reuna-alue	1 ⇒ 3	223 kpl / 29,1 %	27 kpl / 29,2 %
<b>Paalu 6415</b>					
vasen kaista	7	KU pohja	4	200 kpl / 28,9 %	40 kpl / 49,1 %
oikea kaista	22	KU/RU välialue	0 ⇒ 2	179 kpl / 24,3 %	27 kpl / 43,4 %

**Taulukko 7:** *Urasyvyys ja betonipäälysteen pinnalta otetuista 300 mm x 300 mm kuvista tehtyjen mittausten tulokset kesällä 1994 pl 3420, pl 3620, pl 4220 ja pl 6415*

	Ku- van nu- mero	Kuvan sijainti tien poikkileik- kauksessa  RU reuna- KU keskiura	Urasyvyys kuvan koh- dalla mm	Yksittäisten 8...32 mm:n raekoon dia- baasirakeiden osuus: lukumäärä/ diabaasi- rakeiden poikkipinta- alan osuus kuvan ko- konais pinta-alasta	Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm <sup>2</sup> :n dia- baasirakeiden osuus: lukumäärä/osuus diabaasirakeiden ko- konaispinta-alasta
<b>Paalu 3420</b>					
vasen kaista	5	RU pohja	4	142 kpl / 19,8 %	22 kpl / 50,2 %
vasen kaista	10	KU pohja	6	116 kpl / 16,9 %	20 kpl / 53,9 %
oikea kaista	21	KU pohja	16	114 kpl / 16,7 %	19 kpl / 48,1 %
oikea kaista	25	RU pohja	15	138 kpl / 20,7 %	26 kpl / 49,4 %
<b>Paalu 3620</b>					
vasen kaista	9	KU pohja	10	123 kpl / 17,7 %	21 kpl / 56,0 %
oikea kaista	26	RU pohja	10	139 kpl / 20,4 %	25 kpl / 52,1 %
<b>Paalu 4220</b>					
vasen kaista	10	KU pohja	6	245 kpl / 35,9 %	45 kpl / 55,3 %
<b>Paalu 6415</b>					
vasen kaista	7	KU pohja	4	237 kpl / 33,4 %	48 kpl / 51,6 %

#### Koekappaleet paaluilla 3440 ja 7055

Taulukossa 8 on esitetty betonipäälysteestä otettujen koekappaleiden sahauspinnoista otetuista valokuvista tehtyjen mittausten tulokset. Sahauspinnassa näkyvissä olevien yksittäisten 8...32 mm:n raekoon diabaasimurskerakeiden lukumäärä ja poikkipinta-alojen suhteellinen osuus on laskettu kustakin 90 mm x 90 mm kuvasta.

**Paalu 3440**

Syvyysväliltä 2 - 15 cm betonilaatan pinnasta lukien tutkituilla koekappaleen sahauspinnoilla näkyvissä olevan 8...32 mm:n raekoon runkoaineen osuus on 18...27 %. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus 8...32 mm:n raekoon runkoaineesta on 58...87 %.

**Paalu 7055**

Syvyysväliltä 2 - 14,5 cm betonilaatan pinnasta lukien tutkituilla koekappaleen sahauspinnoilla näkyvissä olevan 8...32 mm:n raekoon runkoaineen osuus on 27...37 %. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup> rakeiden osuus 8...32 mm:n raekoon runkoaineesta on 43...53 %.

**Taulukko 8:** Betonipäällysteestä sahatuista kappaleista otetuista 90 mm x 90 mm kuvista tehtyjen mittausten tulokset, pl 3440 ja pl 7055

Kuvan tunnus	Syvyys päällys- teen pinnalta cm	Yksittäisten 8...32 mm:n raekoon diabaasirakeiden osuus 90 mm x 90 mm kuvasta: lukumäärä /diabaasi- rakeiden poikkipinta-alan osuus kuvan kokonaispinta- alasta	Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm <sup>2</sup> :n diabaasirakeiden osuus 90 mm x 90 mm ku- vasta: lukumäärä/osuus dia- baasirakeiden kokonaispinta- alasta
<b>Paalu 3440</b>			
3/2 YP	2	13 kpl/17,6 %	4 kpl/73,5 %
3/2 AP	6	11 kpl/26,9 %	6 kpl/86,8 %
6/5 YP	15	18 kpl/23,6 %	4 kpl/58,3 %
<b>Paalu 7055</b>			
2/1 AP	2	25 kpl/27,2 %	3 kpl/42,6 %
5/4 AP	14,5	31 kpl/37,3 %	5 kpl/53,4 %

**Yhteenveto tutkimustuloksista**

Normaalisti kuluneen betonipäällysteen pinnalla näkyy noin 22 kappaletta 8...32 mm:n raekoon runkoainesraetta neliödesimetrillä. Tällöin karkein 8...32 mm:n raekoon runkoaines kattaa noin 32 % päällysteen pinnan kokonaispinta-alasta. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus karkeimmasta runkoaineesta on noin 50 %. Runkoaineen erikokoiset rakeet ovat jakautuneet betonimassassa suhteellisen tasaisesti.

Keskimääräistä enemmän kuluneen betonipäällysteen pinnalla näkyy noin 11 kappaletta 8...32 mm:n raekoon runkoainesraetta neliödesimetrillä. Tällöin karkein 8...32 mm:n raekoon runkoaines kattaa noin 16 % päällysteen pinnan kokonaispinta-alasta. Poikkipinta-alaltaan yli 200 mm<sup>2</sup>:n rakeiden osuus karkeimmasta runkoaineesta on noin 55 %.

Levitetyn betonimassan runkoaines sisältää betonointipöytäkirjojen mukaan 24 % 8...16 mm:n raekoon runkoainesta ja 31...33 % 16...32 mm:n raekoon runkoainesta. Betonin perusyhtälön mukaisesti 8...32 mm:n raekoon runkoainesta voisi siten näkyä päällysteen pinnassa enimmillään



noin 40 % osuudella kokonaispinta-alasta. Tutkituissa päällysteen pinnalta otetuissa valokuvissa päästään normaalisti kuluneilla osuuksilla enimmillään 36 %:n osuuteen. Paalulla 7055 syvyydellä 14,5 cm päällysteen pinnalta lukien karkeimman runkoaineoksen osuus on 37 %, eli lähellä betonin perusyhtälön mukaista runkoaineoksen määrää.

Tulosten hajontakin huomioon ottaen alkuosuuden keskimääräistä enemmän kuluneella alueella paaluilla 3420, 3440 ja 3620 päällysteen pinnalla näkyvän 8...32 mm:n raekoon runkoaineoksen osuus on vain noin puolet siitä mitä sen ilmeisesti tulisi olla. Paalulla 3440 syvyydellä 2 cm päällysteen pinnalta lukien on 8...32 mm:n raekoon runkoaineoksen osuus vain hieman suurempi kuin päällysteen pinnalla. 6 ja 15 cm:n syvyydellä päällysteen pinnasta karkeimman runkoaineoksen osuus on vain jonkin verran suurempi kuin päällysteen yläosassa. Paalulla 3440 8...32 mm:n raekoon runkoaineoksen osuus ei betonilaatan millään syvyydellä ole yhtä suuri kuin mitä se on päällysteen pinnalla tai pinnan alapuolella paaluilla 4220, 6415 tai 7055.

#### **Tutkimustulosten arvioinnissa huomioitavia tekijöitä**

Sitä miten betonimassan sisältämät 8...16 mm:n ja 16...32 mm:n rakeet todellisuudessa jakautuvat päällysteen ylä- ja alaosien välillä, on mahdotonta yksiselitteisesti määrittää pelkän valokuvatarkastelun perusteella. Tämä johtuu siitä, että ei voida tietää, onko näkyvissä oleva rae vain pieni osa jostain syvemmällä olevasta suuremmasta rakeesta. Tehdyn valokuvatarkastelun luonteesta johtuu, että sen antamat tulokset ovat tarkkoja, mutta tulokset kuvaavat vain tutkittua pintaa kaksiulotteisesti. Betonipäällyste on ja toimii kuitenkin kolmiulotteisena rakenteena.

Betonipäällysteen pinnan kuvauksessa käytetty 300 mm x 300 mm kuvakoko on ilmeisen riittävä runkoaineoksen kivirakeiden normaalin jakautumisen vaihteluiden tasaamiseen. Käytettävissä olleet betonipäällysteestä sahatut koekappaleet olivat pinta-alaltaan enintään noin 100 mm x 200 mm kokoisia. Suurin kaikkien kappaleiden kohdalla mahdollinen tasasivuisen kuvan koko oli käytetty 90 mm x 90 mm. Tämä kuvakoko on ilmeisesti liian pieni tasaamaan runkoaineoksen kaikkia normaalejakaan jakautumisen vaihteluita. Betonilaatan syvyys suunnassa tutkittavien leikkauspintojen tutkimiseen tarvittaisiin vähintään 300 mm x 300 mm kokoiset koekappaleet.

Runkoainesrakeiden särmistä johtuen päällysteen pinnalla ei voida odottaa näkyvän rakeiden maksimipoikkileikkauspinta-aloja. Käytetystä 32 mm:n maksimiraekoosta johtuen suurimpien runkoainesrakeiden maksimipoikkileikkauspinta-ala tulisi näkyä yli 16 mm:n syvyydellä päällysteen pinnasta lukien.

Yksityiskohtaisemmin tutkittujen valokuvien määrä on suhteellisen pieni. Tästä johtuen täytyy tulosten hajonta ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa. Peräkkäisinä vuosina otettujen valokuvien välillä tapahtunut päällysteen kuluminen on ollut suhteellisen pientä, joten pitemmälle meneviä johtopäätöksiä voidaan tehdä vasta kun kuluminen on edennyt ja täsmälleen samasta kohdasta otettuja valokuvia voidaan verrata kulumisen mukaan.

Ajourien välialueiden kohdalla kuluminen on ollut vähäistä. Näiltä välialueilta otettujen valokuvien ja ajourien pohjalta otettujen valokuvien kesken voidaan vertailua tehdä syvyys suunnassa noin 15 mm:n päässä toisistaan



olevien tasojen välillä. Tällöin täytyy olettaa, että tien poikkisuunnassa betonimassan koostumus ei vaihtelee merkittävästi.

Valokuvasuurennoista on digitoitu ja piirretty 8...32 mm:n raekoon diabaasirakeiden reunaviivat. Osa näistä kuvista on esitetty liitteissä 5...11. Kuvat ovat mittakaavassa 1:1.

### 3.1.4 Kitkaominaisuudet

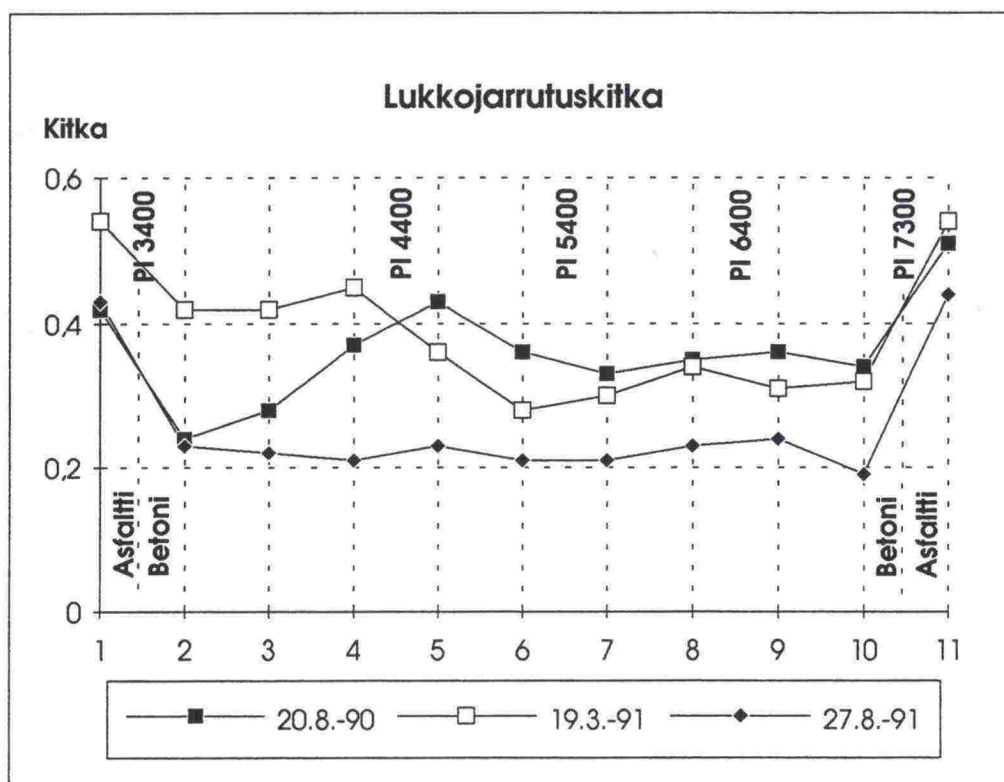
#### Yleistä

Päällysteen kitkaominaisuuksia on mitattu kitkanmittausautolla. Mittauksia on tehty koko betonipäällysteen osuudella. Vertailumittaukset on tehty välittömästi betonitien etelä- ja pohjoispuolella asfalttiosuuksilla.

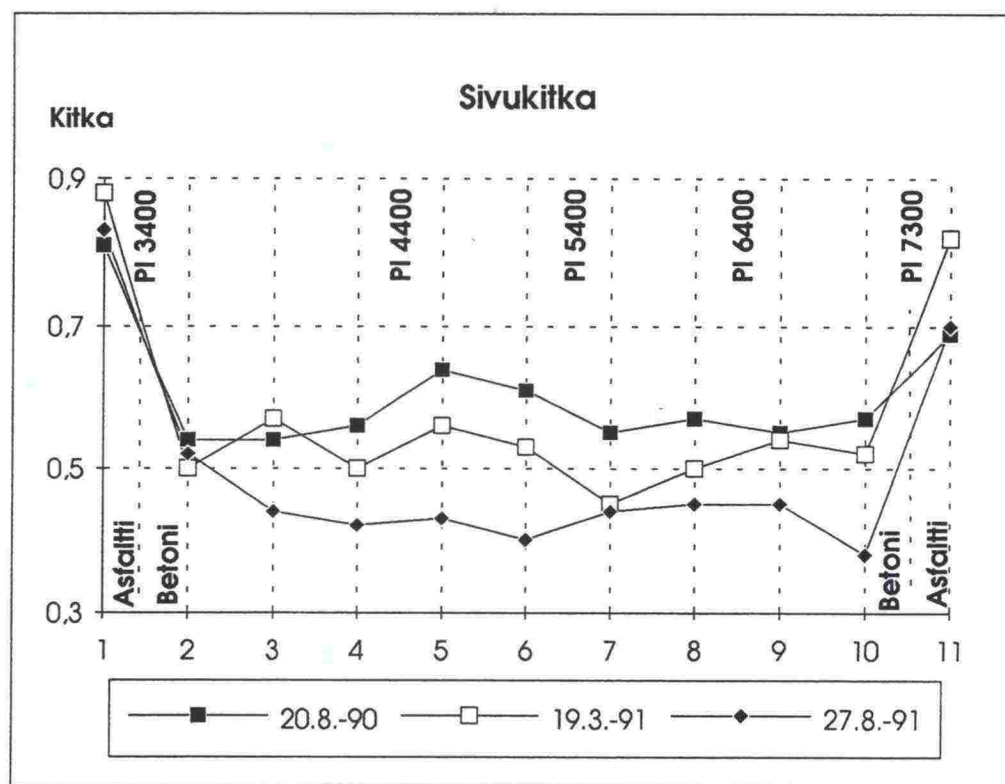
Mittausmenetelmä on standardin TIE 476 mukainen. Käytettävän kitkanmittausauton ominaisuudet ja olosuhteet ovat seuraavat:

- mittausauton nopeus 60 km/h
- tien pinnan kastelu 1 mm
- renkaan kuormitus 390 kg
- renkaan ilmanpaine 190 kPa
- rengas 185/65R15.

Kitkanmittausautolla on mitattu lukkojarrutuskitkaa ja sivukitkaa. Kitkanmittaustulokset on esitetty kuvissa 12 ja 13.



Kuva 12: Kitkanmittaustulokset 1990 - 1991, lukkojarrutuskitka



Kuva 13: Kitkanmittaustulokset 1990 - 1991, sivukitka 8°

### Lukkojarrutuskitkakerroin

Menetelmällä selvitetään lukkoon jarrutetun auton renkaan ja paljaan sekä peitteisen esim. jäisen tai lumisen päällysteen välinen kitka. Kitkanmittauslaitteena käytetään kuorma-autoon rakennettua henkilöauton etupyörää, alkuperäisine ripustuksineen ja varusteineen. Pyörään kohdistuvat voimat mitataan kahdella voima-anturilla.

Paljaalta päällysteeltä tehtävässä kitkanmittauksessa käytetään täysin sileää erikoisrengasta. Mittapyörä on auton suuntainen ja jarrutetaan täysin lukkoon. Vettä ruiskutetaan välittömästi pyörän eteen koko mittauksen ajan 1 l/m<sup>2</sup>.

Peitteiseltä päällysteeltä tehtävässä kitkanmittauksessa käytetään nastoitettua talvirengasta ja samaa rengasta ilman nastoja. Rengastyyppiä valitaan yleisesti käytetty rengastyyppi. Nastoitus tehdään voimassa olevien nastamääräysten enimmäismäärien mukaisesti.

Mittausmatka on yleensä 400 - 1000 m. Lyhin mittausmatka on 100 m. Valitulla mittausmatkalla tehdään 40 m yhtämittaisia jarrutuksia haluttu määrä. Jarrutusten välissä on oltava vähintään 40 m pitkä jakso, jossa mittauspyörä pyörii vapaasti. Kitka-arvot mitataan mittausmatkalta 2 m:n välein.

### Sivukitkakerroin

Menetelmällä selvitetään erilaisten kesärenkaiden ja talvirenkaiden väliset kitkaerot käyttäen samaa päällystettä. Kitkanmittauslaitteena käytetään samaa laitteistoa kuin lukkojarrutuskitkanmittauksissa, mutta mittauspyörä

käännetään tiettyyn vierintäkulmaan kulkusuuntaan nähden. Rengas kehittää pyörän ja päällysteen väliin voiman, josta käytetään nimitystä sivukitka.

Sivukitkan maksimi eri vierintäkulmilla haetaan mittausajankohdasta riippuen erilaisilla kesärenkailla sekä nastoitetuilla että nastoittamattomilla talvirenkailla. Vettä ruiskutetaan välittömästi pyörän eteen koko kesärenkaiden mittauksen ajan 1 l/m<sup>2</sup>.

### 3.1.5 Valon paluuheijastuvuus

Paluuheijastuvuusmittaukset tehtiin LTL-800 Retrometer -paluuheijastuvuusmittarilla. Mittauksia on tehty koko betonipäällysteen osuudella. Vertailumittaukset on tehty välittömästi betonitien etelä- ja pohjoispuolella asfaltti-osuuksilla. Käytetyt mittauskulma 1,36° ja valaisukulma 0,74° vastaavat henkilöauton valojen heijastumaa 50 m:n päässä auton edessä.

Jokainen ilmoitettu heijastuvuusarvo on viiden mittauksen keskiarvo. Valonheijastuvuuden mittayksikkönä käytetään mcd \* m<sup>-2</sup> \* lx<sup>-1</sup>. Tulokset eivät ole vertailukelpoisia Erichsen-paluuheijastuvuusmittarin tulosten kanssa eri heijastuskulman takia. Paluuheijastuvuusmittaustulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9: Paluuheijastuvuusmittaustulokset 20.8.1990

	Keskiarvo	Vaihteluväli
Betonipäällyste	25,3	22 ... 28
Asfalttipäällyste	6,75	5 ... 8

### 3.1.6 Melumittaukset

Melumittaukset tehtiin ISO standardia soveltaen seuraavasti:

- mittausauto Volkswagen Golf
- renkaat Continental 175/70-13
- melumittari Brul & Kjaer (B & K 2203)
- mikrofonin etäisyys mittausauton ajolinjasta 7,5 m
- mikrofonin korkeus tienpinnan tasosta 1,2 m
- mittausauton nopeus 70 ja 100 km/h veto päällä IV vaihteella.

Mittaustuloksena on saatu ohitusmelun arvo dBA max. Mittauksen aikana moottori oli käynnissä ja veto päällä IV vaihteella. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10: Melumittaustulokset 20.8.1990, ohitusmelu dBA

	70 km/h		100 km/h	
	keskiarvo dBA	vaihteluväli dBA	keskiarvo dBA	vaihteluväli dBA
Betonipäällyste	79,0	77,2 ... 81,3	85,2	83,8 ... 86,7
Asfalttipäällyste	79,2	78,5 ... 79,9	84,0	83,0 ... 84,5



### 3.1.7 Betonilaattojen liikkeet

Betonilaattojen liikkeitä seurattiin paalun 5140 ympäristössä tarkoitusta varten instrumentoitujen betonilaattojen nro 690, 692...706 kohdalla. Betonilaattojen liikkeitä tutkittiin lämpötilamittauksin, tarkkavaaituksin ja työntömittaustulkkauksin. Betonilaattojen odotettiin käyristyvän lämpötilan muuttuessa ja lämpötilaeron ollessa suuri laatan ylä- ja alapinnan välillä. Mittaukset pyrittiin tekemään keväällä yöpakkasten jäähdyttyä laatan ja iltapäivän kevätauringon lämmittäessä laatan yläpinnan. Mittaukset tehtiin aamuyöllä ennen auringon nousua ja iltapäivällä ennen auringon laskua.

Lämpötila betonilaatan eri kerroksissa mitattiin termoelementistä, joka oli asennettu betonipäällysteeseen. Mittauspisteet olivat 2, 4, 6, 10, 15 ja 20 cm:n syvyydeltä laatan pinnasta lukien. Alkuperäisen tavoitteen mukaisesti pyrittiin siihen, että betonilaattojen liikkeitä mitattaessa lämpötilaero betonilaatan ylä- ja alapinnan välillä olisi vähintään 20 °C.

2.4 ja 3.4.1991 tehtyjen mittausten välillä lämpötilaerot olivat:

- \* ilmassa 12 °C, muutos: -8,0 °C -> +4,0 °C
- \* betonilaatan yläpinnassa 10,0 °C, muutos: -4,8 °C -> +5,2 °C
- \* betonilaatan alapinnassa 4,2 °C, muutos: -3,2 °C -> +1,0 °C

Mittauksia tehtäessä todettiin, että tavoitteena ollut betonilaatan ylä- ja alapinnan välinen 20 °C lämpötilamuutos vuorokaudessa on erittäin vaikea saavuttaa. Tavoitteen saavuttaminen edellyttäisi jatkuvaa, useiden vuorokausien yhtäjaksoista seurantaa ja mittausta.

Tehdyissä mittauksissa laattojen keskimääräinen käyristyminen oli 0,015...0,035 mm/°C/2,2...3,2 m laskettuna laatan keskikohdan ja reunojen välillä.

Lämpötilan muutoksesta johtuvaa betonilaatan laajenemista/-kutistumista tutkittiin mittaamalla asennettujen mittauspulttien väliset etäisyydet betonilaatan ollessa eri lämpötilassa. Mittaukset tehtiin tarkoitusta varten kehitetyllä työntömittauskalustolla. Mittaukset tehtiin samanaikaisesti käyristymämittausten kanssa.

Keskimääräinen lämpölaajeneminen oli laatan pituussuunnassa 0,085...0,14 mm/°C/4,8 m ja laatan poikkisuunnassa 0,125...0,155 mm/°C/4,3 m. Betonilaattojen nro 690, 692...706 välisten saumarakojen suuruus muuttui keskimäärin 0,25 mm, vaihteluväli 0,10...0,45 mm. Lämpötilan muutoksesta aiheutuva saumaraon suuruuden muutos on siten keskimäärin 0,025 mm/°C.

Koska tulos on ennako-odotusten mukainen päätettiin, että betonilaattojen liikkeitä ei seurata ainakaan lähivuosina.

### 3.1.8 Betonin laadun seuranta

#### Näytteenotto

Betonin lujuutta, sään- ja suolankestävyyttä on tutkittu päällysteestä otetuista koekappaleista. Näytteet tutkimuksia varten on irrotettu timanttisahalla ja -poralla laattojen nrot 10 ja 1460 (v. 1990 - 1991) sekä 12 ja 1462 (v. 1992) pientareen puoleisesta reunasta välittömästi reunaviivan ulkopuo-

lelta. Kunkin näytteenoton yhteydessä laatasta irrotettiin kolme noin 100 mm:n levyistä ja noin 500 mm:n pituista perättäistä näytettä betonilaatan läpi. Näytteen korkeus on siten noin 220 mm. Näytepalat irrotettiin toisistaan poraamalla  $\varnothing$  100 mm:n timanttiporalla neljä reikää sahauslinjaan.

Näytteiden irrottamisen yhteydessä tehtiin seuraavat havainnot:

26.9.1990

- laatasta nro 10 otetut näytteet irtosivat pohjasta siten, että maabetonia tuli mukaan
- laatasta nro 1460 otetut näytteet irtosivat pohjasta betonin ja maabetonin välistä saumaa pitkin.

24.9.1991

- laatasta nro 10 otetut näytteet irtosivat pohjasta siten, että maabetonia tuli mukaan
- laatasta nro 1460 otetut näytteet irtosivat pohjasta betonin ja maabetonin välistä saumaa pitkin.

9.9.1992

- laatasta nro 12 otetut näytteet irtosivat pohjasta siten, että maabetonia tuli paikoitellen mukaan
- laatasta nro 1462 otetut näytteet irtosivat pohjasta betonin ja maabetonin välistä saumaa pitkin.

Jokaisesta näytteestä valmistettiin kaksi kooltaan noin 100 mm x 100 mm x 500 mm koekappaletta (yläosasta ja alaosasta erikseen). Koekappaleiden kokonaismääräksi tuli siten 12 kpl/tutkimuskerta.

Taivutusvetolujuuden määrittämisen jälkeen edellisistä palkeista valmistettiin noin 100 mm x 100 mm x 100 mm kokoisia koekappaleita seuraavasti:

- yläosasta 6 kpl, joista 3 päätykappaletta pakkas-suolakestävyyskokeeseen ja 3 seuraavaa kappaletta puristuslujuuskokeeseen
- alaosasta 3 kpl puristuslujuuskokeeseen.

Näytteenoton ja koekappaleiden valmistamisen välinen aika kappaleita säilytettiin huonetilassa muovikalvolla suojattuna.

Mikroskooppitutkimuksessa käytettiin lieriöitä, jotka porattiin näytepalkkien irrottamiseksi sahauslinjasta.

### Kokeiden teko

Palkeista määritettiin taivutusvetolujuus standardin SFS 5444 mukaan kah-ta viivakuormaa käyttäen. Kuormitus kohdistettiin yläosasta valmistettuun palkkiin siten, että vetopuolena oli tien pinnan puoleinen syrjä ja alaosasta valmistettuun palkkiin siten, että vetopuolena oli tien alapinnan puoleinen syrjä.



Puristuslujuus määritettiin standardin SFS 4474 mukaan siten, että puristussuunta oli tien pintaa vastaan kohtisuoraan.

Pakkas-suolakestävyys määritettiin standardin SFS 5449 mukaan. Jäädystys-sulatuskierrosten lukumäärä oli 50. Koekappaleiden valmistuksen jälkeen niitä säilytettiin em. standardin mukaisissa olosuhteissa (+20 °C ja suhteellinen kosteus  $70 \pm 5$  %) koestuksen aloittamiseen saakka.

Betoninäytteiden kunto tutkittiin mikroskooppianalyysillä kahdesta poraamalla irrotetusta lieriöstä. Mikroskooppianalyysi tehtiin VTT:n Rakennusmateriaalilaboratoriossa.

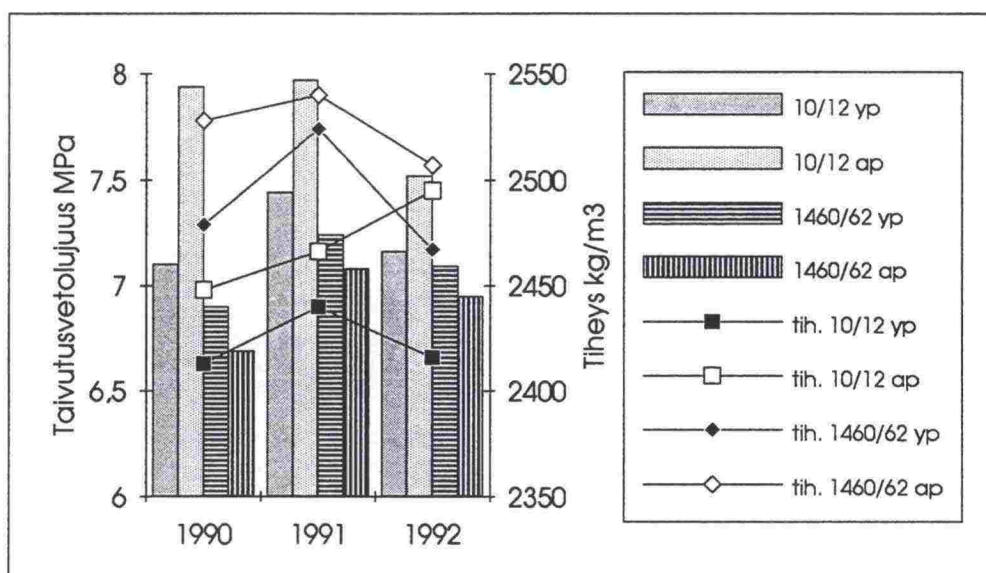
### Tutkimustulokset

Taivutusvetolujuuden kehittyminen vuosina 1990 - 1992 on esitetty kuvassa 14. Puristuslujuuden kehittyminen vuosina 1990 - 1992 on esitetty kuvassa 15. Samoissa kuvissa on esitetty myös tutkittujen näytteiden tiheys. Pakkas-suolakestävyyskokeen tulokset vuosina 1990 - 1992 on esitetty taulukossa 11.

Vuoden 1990 kokeen jälkeen laatan nro 10 koekappaleissa ei ollut havaittavissa vaurioita. Laatan nro 1460 koekappaleiden pinnat olivat rapautuneet.

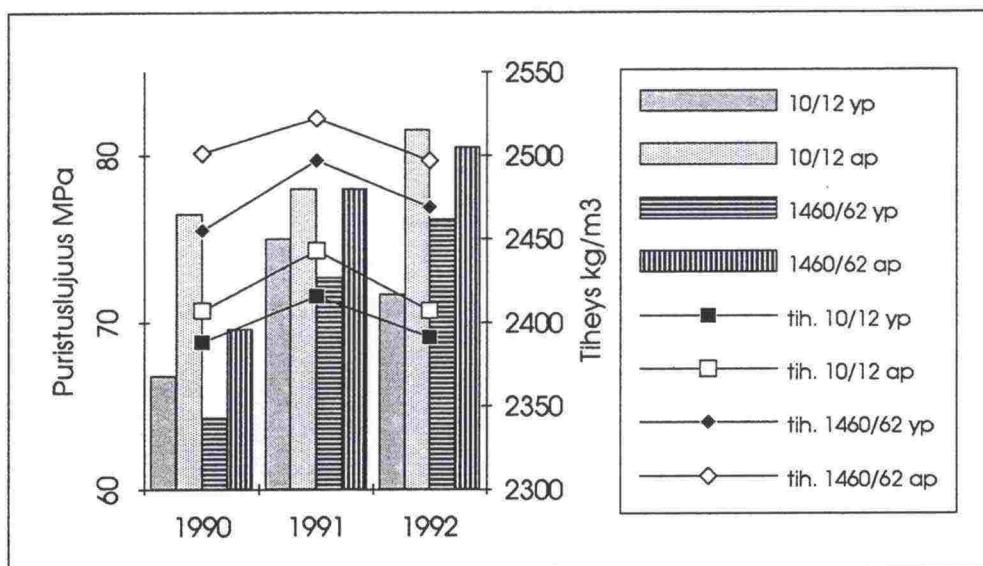
Vuoden 1991 kokeen jälkeen laatan nro 10 koekappaleissa ei ollut havaittavissa vaurioita. Laatan nro 1460 koekappaleiden pinnat olivat hieman rapautuneet.

Vuoden 1992 kokeen jälkeen laatan nro 12 koekappaleissa oli havaittavissa vähäistä rapautumista. Laatan nro 1462 koekappaleiden pinnat olivat rapautuneet huomattavasti.



Kuva 14: Taivutusvetolujuuden ja tiheyden kehittyminen 1990 - 1992





Kuva 15: Puristuslujuuden ja tiheyden kehittyminen 1990 - 1992

Taulukko 11: Pakkas-suolakestävyyskokeen tulokset koekappaleittain vuosina 1990 - 1992. Kunkin vuoden tulos on kolmen kokeen keskiarvo.

Koekappaleet laatasta nro	10	10	12	1460	1460	1462
Tutkimusajankohta	1990	1991	1992	1990	1991	1992
Tiheys ennen imeytystä kg/m <sup>3</sup>	2430	2460	2447	2510	2530	2533
Imeytyminen % (esikäsittely)	0,5	0,2	0,2	0,9	0,4	0,3
Tilavuuden muutos %						
10 kierrosta	-0,1	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,2
25 kierrosta	-0,1	0,5	-0,1	1,6	0,0	1,9
35 kierrosta		0,0	-0,1		0,6	3,1
50 kierrosta	-0,1	0,0	0,1	5,9	1,2	6,6

### Mikroskooppitutkimukset

Mikroskooppitutkimuksissa on analysoitu betoninäytteiden homogeenisuutta, ilmahuokosrakennetta, mikrosäröilyä, kiteytymiä, vesi-sideainesuhdetta ja karbonatisoitumista.

Näytteet analysoitiin tutkimalla niitä tekijöitä, joilla on ollut ja on suora tai epäsuora vaikutus betonin kuntoon. Näitä tekijöitä kuvataan indeksillä eli lukuarvolla nolasta kolmeen. Indeksi 0 tarkoittaa, että määritetty tekijä tai ominaisuus on erinomainen. Indeksi 3 tarkoittaa, että tekijä tai ominaisuus on huono. Näytteiden summaindeksi on saatu analysoitujen ominaisuuksien indeksien summana.

Vuosien 1990 - 1992 tutkimusraporttien keskeinen sisältö eri ominaisuuksien mukaan on esitetty seuraavassa yhteenvedossa:

#### 1) Homogeenisuus

Betoninäytteiden runkoaine-sideainejakauma on tasainen, samoin kuin sementtikiven rakenne. Myös sementin hydrataatio on tasainen. Näytteiden indeksi on 0.

#### 2) Ilmahuokosrakenne

Näytteissä on ilmahuokosia erittäin vähän. Näytteiden indeksi on 1,5.

#### 3) Mikrosäröily

Näytteessä Oulu 10/1 on tasaista, epäjatkovaa mikrosäröilyä koko näytteessä. Näytteen indeksi on 1,5.

Näytteessä Oulu 10/2 on tasaista, epäjatkovaa mikrosäröilyä koko näytteessä. Lisäksi ulkopinnan lähellä on joitakin pinnan suuntaisia säröjä. Näytteen indeksi on pinnassa 1,5 ja syvemmällä 0,5.

Näytteen Oulu 12/3 pintaosassa (0 - 12 mm) on yksi pinnan suuntainen halkeama sekä tasaista, epäjatkovaa mikrosäröilyä. Syvemmällä betonissa (30 - 50 mm) on heikkoa, epäjatkovaa mikrosäröilyä. Pintaosan indeksi on 1,5 ja syvemmällä 0,5.

Näytteessä Oulu 1460/1 on vain muutamia lyhyitä, pieniä mikrosäröjä. Näytteen indeksi on 0.

Näytteessä Oulu 1460/2 on ulkopinnan lähellä joitakin pinnan suuntaisia säröjä ja syvemmällä näytteessä vain muutamia lyhyitä pieniä mikrosäröjä. Näytteen indeksi on pinnassa 1 ja syvemmällä 0.

Näytteen Oulu 1462/3 pintaosassa on yksi pinnan suuntainen halkeama sekä heikkoa mikrosäröilyä. Syvemmällä betonissa on vain muutama pieni mikrosärö. Pintaosan indeksi on 1,0 ja syvemmällä 0.

#### 4) Kiteytymät

Kiteytymiä ei näytteiden huukosista tai säröistä löydy. Näytteiden indeksi on 0.

#### 5) Vesi-sideainesuhde

Vesi-sideainesuhde betoneissa on tasainen ja varsin alhainen. Isojen runkoainerakeiden tartunnassa todettiin hieman kohonnut vesi-sementtisuhte. Näytteiden indeksi on 0,5.

#### 6) Karbonatisoituminen

Näytteiden pinnasta mitatut karbonatisoitumissyvyydet ovat:

näyte Oulu 10/1	0,5 - 3 mm	näyte Oulu 1460/1	0,5 - 2 mm.
näyte Oulu 10/2	0 - 3 mm	näyte Oulu 1460/2	0 - 2 mm
näyte Oulu 12/3	0,5 - 3,5 mm	näyte Oulu 1462/3	0,5 - 3 mm.

Yhteenveto vuosien 1990 -1992 mikroskooppitutkimusten tuloksista on esitetty taulukossa 12.



*Taulukko 12: Mikroskooppitutkimuksissa vuosina 1990 - 1992 analysoitu-  
jen ominaisuuksien indeksiarvot ja summaindeksit*

Näytteen nro	10/1	10/2	12/3	1460/1	1460/2	1462/3
Tutkimusajankohta	1990	1991	1992	1990	1991	1992
Homogeenisuus	0	0	0	0	0	0
Ilmahuokosrakenne	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Mikrosäröily 0-12 mm pinnasta	1,5	1,5	1,5	0,5	1	1
Mikrosäröily 30-50 mm pinnasta	1,5	0,5	0,5	0	0	0
Kiteytymät	0	0	0	0	0	0
Vesi/sideainesuhde	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Summaindeksi	5	4	4	2,5	3	3
Indeksi 0 tarkoittaa, että määritetty tekijä tai ominaisuus on erinomainen.						
Indeksi 3 tarkoittaa, että määritetty tekijä tai ominaisuus on huono.						

Yksittäisiä ominaisuuksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että betonit ovat homogeenisia. Betoneiden vesi-sideainesuhde on tasainen ja alhainen. Myöskään korroosiotuotteita betoneista ei löydy. Betoneiden ilmahuokosrakenne ja mikrosäröily asettuvat indeksiasteikon (0 - 3) puoliväliin, muut selvästi alapuolelle.

Jos betoninäytteiden kuntoeroa tarkastellaan ominaisuuksien summaindeksien valossa, voidaan todeta, että betonit eivät kunnoltaan paljoa poikkea toisistaan. Vaihteluvälin 0 - 18 sisällä näytteet asettuvat haarukan alkupäähän, enintään 3 yksikön päähän toisistaan, eli betonit ovat kunnoltaan hyviä.

Vähäisen ilmamäärän vaikutusta betoneiden pakkasenkestävyyteen ja säilyvyyteen on vaikea arvioida betoneiden alhaisen vesi-sideainesuhteen ja ilmeisen korkean lujuusluokan vuoksi.

#### **Yhteenveto betonin laadun kehittymiseen liittyvistä laboratoriotutkimuksista**

Verrattaessa vuoden 1992 tuloksia vuosien 1990 ja 1991 tuloksiin voidaan todeta seuraavaa:

- \* Taivutusvetolujuudet ovat pysyneet likimain samalla tasolla koko tarkastelujakson.
- \* Puristuslujuudet ovat pysyneet tasoltaan vuoden 1991 lukemissa.
- \* Pakkas-suolakokeessa laatan 12 rapautuma on aiempien kokeiden mukainen, eli rapautumista ei ole tapahtunut. Laatan 1462 rapautuma on selvästi suurempi kuin vuoden 1991 kokeessa, ollen samaa suuruusluokkaa kuin vuoden 1990 kokeessa (vuonna 1990 rapautuma 5,9 %, vuonna 1991 rapautuma 1,2 % ja vuonna 1992 6,6 %).
- \* Mikroskooppianalyysissä havaittiin vähäistä muutosta mikrosäröilyn määrässä. Muilta osin tulokset olivat aiemman tutkimuksen kaltaiset.



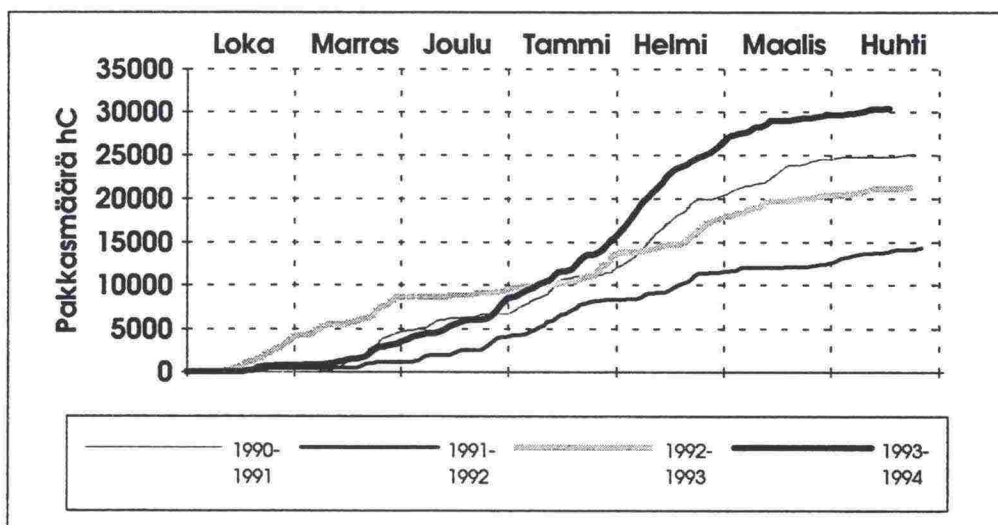
### 3.1.9 Routahavaintoihin liittyvät mittaukset

Routahavaintoihin liittyvien mittausten tekemistä varten instrumentoitiin neljä tiepoikkileikkausta: pl 3375 (AB), pl 3422,5, pl 5142,5 ja pl 6342,5. Tiepoikkileikkausten instrumentointi toteutettiin betonitien seurantaohjelmassa kohdassa 10 s.18 esitetystä muodosta. Tutkimuspoikkileikkauksiin liittyy vertailupiste sivuojan takana. Instrumentoinnin avulla tehdyillä mittauksilla pystytään seuraamaan routanousua, roudan etenemistä rakenteessa ja pohjaveden korkeusasemaa.

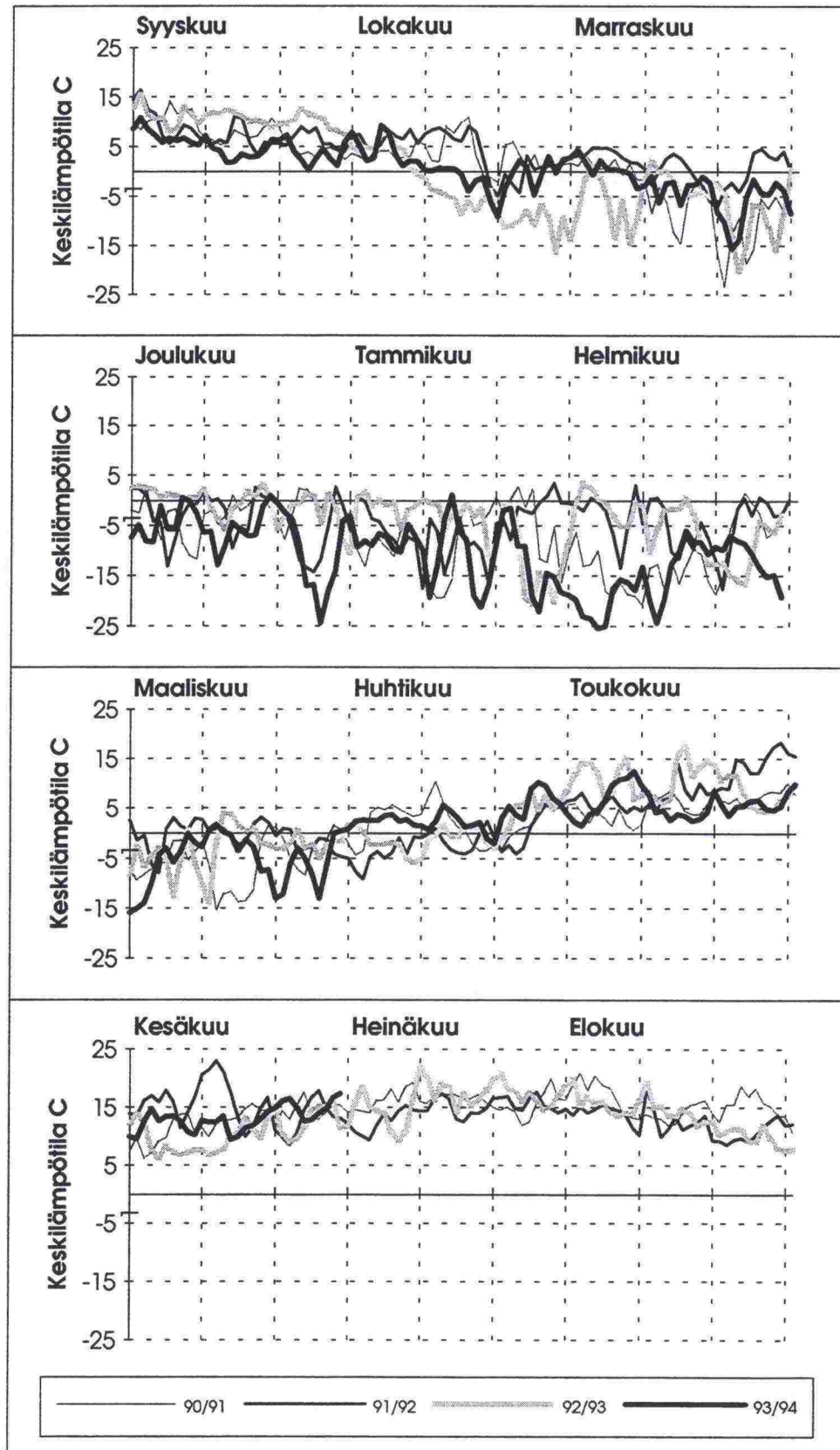
Routanousua mitataan vaaitsemalla tutkimuspoikkileikkauksen kohdalla tien pinnan ja pientareen korkeusasemaa. Asfalttipäällystepoikkileikkauksessa pl 3375 on 7 vaaituspistettä ja betonipäällystepoikkileikkauksessa 16 vaaituspistettä/2 betonilaattaa sekä 8 vaaituspistettä pientareilla. Pohjaan routanousua mitataan vaaitsemalla vertailupisteisiin asennettujen routanousumittauslevyjen korkeusasemaa, yhteensä 3 kpl.

Routarajan eteneminen rakenteessa on saatu lämpötilamittaustuloksista 0-gradientin kohdalta. Talvikaudella 1990 - 1991 routahavaintoihin liittyvät mittaukset instrumentoiduissa poikkileikkauksissa tehtiin yhteensä 15 kertaa. Vuosina 1991 - 1994 mittaukset on tehty kaksi kertaa vuodessa eli maaliskuussa ja elokuussa.

Vuoden pakkasmäärät aikavälillä 1.9.1990 - 31.8.1994 Oulunsalon lentoasemalla on esitetty kuvassa 16 ja vastaavat vuorokauden keskilämpötilat on esitetty kuvassa 17.



Kuva 16: Pakkasmäärät Oulunsalon lentoasemalla talvikausilla 1990 - 1994



Kuva 17: Vuorokauden keskilämpötilat 1.9.1990 - 31.8.1994 Oulunsalon lentoasemalla



Talven 1990 - 1991 pakkasmäärä on 25 000 h °C, talven 1991 - 1992 pakkasmäärä on 14 000 h °C ja talven 1992 - 1993 pakkasmäärä on 21 200 h °C. Pakkasmäärän ollessa 20 000...25 000 h °C routaraja on edennyt rakennekerrosten ja pohjamaan rajalle tai vain hieman pohjamaahan. 15 000...20 000 h °C pakkasmäärällä routaraja on jäänyt rakennekerrokseen eikä pohjamaa ole routaantunut. Routanousu tien keskilinjalla alle 25 000 h °C pakkasmäärällä on ollut alle 5 mm. Vertailupisteissä luonnollisen pohjamaan routanousu on ollut 30 - 70 mm.

Talven 1993 - 1994 pakkasmäärä on 30 400 h °C. Tällä pakkasmäärällä routaraja on edennyt 0,7...0,9 m pohjamaahan. Tien keskilinjalla routanousu on tutkimuspoikkileikkauksissa B ja D ollut yhtä vähäistä kuin aiempina lauhoina talvinakin eli alle 5 mm. Tutkimuspoikkileikkauksissa A ja C tien keskilinjalla routanousu on ollut 15...25 mm.

25 000 h °C vastaa kerran 2 vuodessa Oulun alueella toistuvaa pakkasmäärää. Tierakenteiden routamitoituksessa käytetään kerran 10 vuodessa esiintyvää pakkasmäärää F10, joka Oulun alueella on 40 000 h °C.

Routahavaintomittaustuloksissa merkitä pantavaa on se, että pohjavesipinta tien pientareen kohdalla tutkimuspoikkileikkauksissa C ja D on routarajan yläpuolella. Tämä johtunee siitä, että tutkimuspoikkileikkauksessa C ympäröivän maaston muodosta seuraa, että pohjavesipinta nousee keväällä nopeasti roudan alkaessa sulaa maastossa tutkimuskohdan yläpuolella.

Tutkimuspoikkileikkauksessa D pohjaveden pinnan korkeusasema on normaalisti hyvin vakaa johtuen osuuden salaojituksesta. Talvella 1993/1994 rakenteen routaantuessa aiempaa syvemmältä ovat salaojat mahdollisesti jäätyneet, eivätkä roudan sulamisvedet ole päässeet salaojien kautta normaalisti poistumaan kuivatusjärjestelmään.

Mittausten yhteydessä on tarkastettu, että pohjavesiputket eivät ole tukkeutuneet eivätkä jäässä. Pohjavesimittauksia on ilmeisesti jatkossa syytä tehdä kevättalvella tien vielä ollessa routaantumisvaiheessa kerran kuukaudessa todellisen pohjavesitilanteen varmistamiseksi.

Routahavaintomittaustulokset on esitetty liitteissä 1 - 4. Tuloksissa on esitetty tien pinta, rakennekerrosten alapinta, routaraja, pohjaveden pinnan taso ja routanousu tien keskilinjalla tutkimuspoikkileikkauksissa A - D. Mittaustulokset poikkileikkauksen eri kohdilta ovat myös saatavissa. Koska tuloksissa ei ole havaittu ennako-odotuksista poikkeavaa ei niitä ole tässä yhteydessä esitetty.

### 3.1.10 Vaaitukset

Lähtötilanteen dokumentointia varten betonien pinnan korkeusasema mitattiin erittäin kattavasti tien valmistumisvaiheessa. Jokaisen betonilaatan kaikkien kulmien korkeus vaaittiin. Pientareiden korkeus vaaittiin kaikkien betonilaattojen saumojen kohdalta laatan vierestä ja pientareen ulkoreunalta. Jokaisen betonipäälysteen poikittaissauman kohdalta mitattiin vähintään 7 pistettä. Kaikkiaan vaaittuja pisteitä oli 6008 kpl.

Jatkossa vaaittavien pisteiden lukumäärää on vähennetty. Vaaituksilla on pyritty kattamaan koko tiepituus esim. harventamalla mitattavien poikkileik-



kausten kokonaismäärää. Yksityiskohtaisemmat vaaitukset on kohdistettu sellaisiin kohtiin, joissa on havaittu jotain erityistä.

Huhtikuussa 1991 vaaittiin poikkileikkaukset 25 m:n välein. Epätasaista routanousua ei havaittu. Tien pinta oli sitävastoin painunut paaluvälillä 3410 - 4370. Painuma oli suurimmillaan 6 cm. Painumista oli tapahtunut tasaisesti koko tien leveydeltä. Betonilaattojen välille tai betonilaattojen ja pientareen välille ei ollut syntynyt porrastusta. Tien pituussuunnassa painumista oli tapahtunut kahdessa kohdassa yhteensä noin 500 m:n matkalla. Painuneella osuudella pohjamaa on kerroksellista savista silttiä ja hiekkaisista silttiä. Painokairauksilla on pohjamaassa havaittu useita metrejä paksuja löyhässä tilassa olevia maakerroksia.

Syyskuussa 1991 vaaittiin painuneella osuudella poikkileikkaukset 5 m:n välein. Muualla poikkileikkaukset vaaittiin 25 m:n välein. Huhtikuun 1991 ja syyskuun 1991 välisenä aikana tien pinta oli edelleen painunut paaluvälillä 3410 - 4370. Kokonaispainuma oli suurimmillaan 9 cm.

Maaliskuussa 1992 vaaittiin pelkästään tien keskilinja 5 m:n välein laattasaumojen kohdalta. Leudosta talvesta johtuen routanousua ei esiintynyt.

Kesävaaitusta vuonna 1992 ei tehty.

Maaliskuussa 1993 vaaittiin paaluvälillä 3410 - 4400 poikkileikkaukset 5 m:n välein. Muualla mitattiin vain laatan ja pientareen välinen korkeusero noin 50 kohdassa. Varsinaista routanousua ei vaaitustuloksista voida erottaa. Laatan ja piennarasfaltin välinen korkeusero oli paaluvälillä 3410 - 4400 säilynyt samana kuin se oli elokuussa 1990 eli tien valmistumisvaiheessa. Piennarasfaltti jäi rakennusvaiheessa paaluvälillä 3410 - 4400 betonipäällysten pinnan alapuolelle siten, että vasemman pientareen kohdalla korkeusero oli alle 1 cm ja oikean pientareen kohdalla 1 - 2,5 cm. Mitatuissa noin 50 erillisessä kohdassa paaluvälillä 4400 - 7330 laatan ja piennarasfaltin välinen korkeusero oli 1 - 2,5 cm.

Elokuussa 1993 vaaittiin paaluvälillä 3410 - 4400 poikkileikkaukset 5 m:n välein ja paaluvälillä 4400 - 7330 tien keskilinja 5 m:n välein laattasaumojen kohdilta. Pohjamaan kokoonpuristuminen paaluvälillä 3410 - 4080 oli edelleen jatkunut ollen suurimmillaan 12,5 cm. Paaluvälillä 4080 - 4370 pohjamaan kokoonpuristuminen näyttää hidastuneen tai jopa loppuneen, sillä tien pinta oli kesällä 1993 tällä osuudella samassa tasossa kuin vuonna 1991.

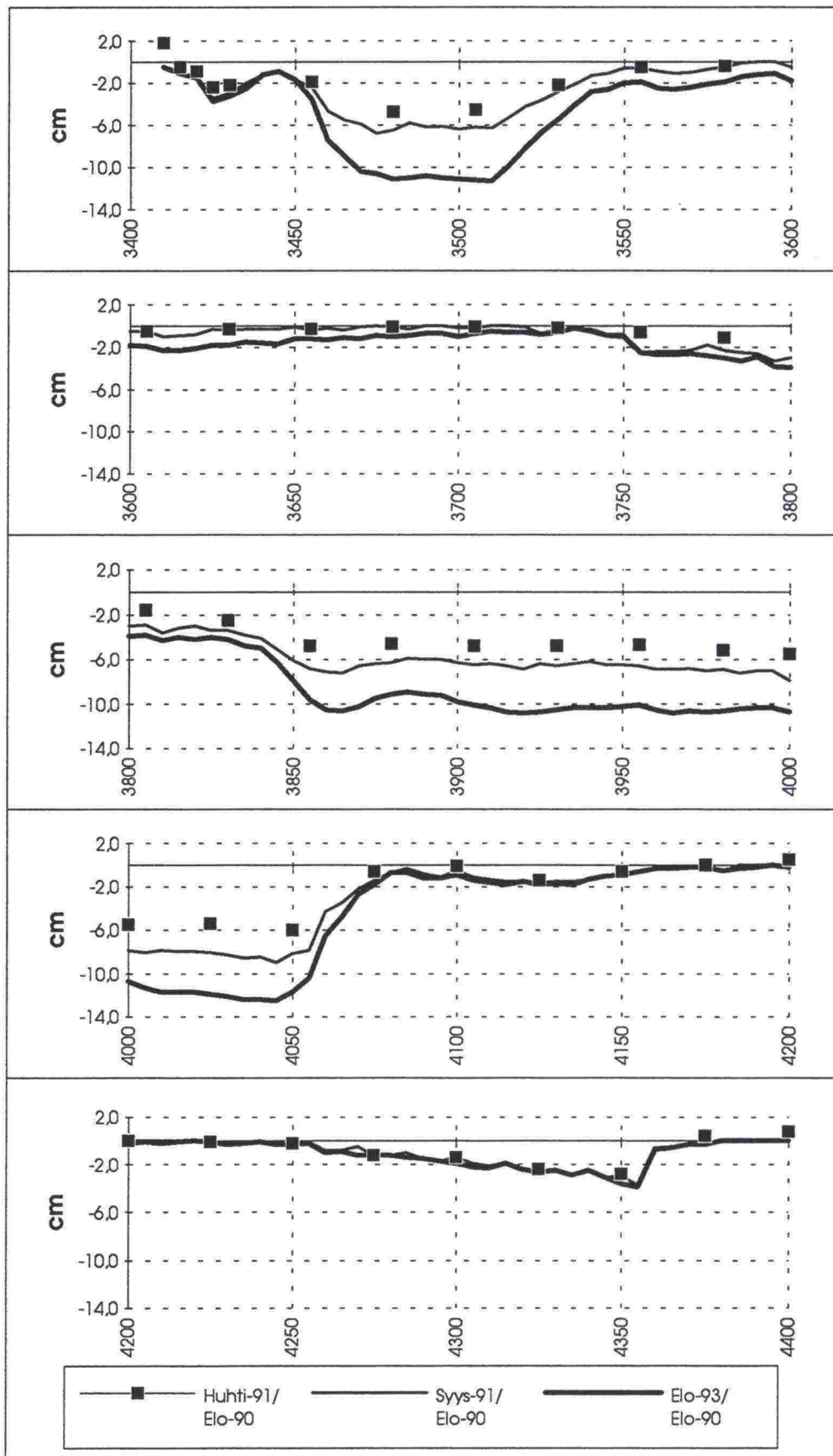
Huhtikuussa 1994 vaaittiin tien keskilinja 5 m:n välein laattasaumojen kohdilta ja poikkileikkaukset 100 m:n välein koko betonitieosuudella eli paaluvälillä 3410 - 7330. Merkittävää routanousua ei voitu havaita. Betonilaattojen ja piennarasfaltin välinen korkeusero tien valmistumisvaiheessa oli keskimäärin 0,5...2 cm siten, että asfaltti oli betonia alempana. Huhtikuussa 1994 betonilaattojen ja piennarasfaltin välinen korkeusero oli kasvanut mitatuissa poikkileikkauksissa keskimäärin 0,5...1 cm alkutilanteeseen verrattuna.

Kesävaaitusta vuonna 1994 ei tehty.

Routanousu on joka vuosi ollut tasaista, mikäli routanousua yleensä on tapahtunut leutojen talvien takia. Keskilinjan maksimiroutanousu on yleensä

ollut alle 2 cm. Alkuosuuden pohjamaan kokoonpuristuminen jatkuu edelleen tosin hidastuneena.

Betonitien alkuosuuden vaaitustuloksia vuosilta 1990, 1991 ja 1993 on esitetty kuvassa 18. Vuosien 1991 ja 1993 vaaitustuloksia on verrattu vuoden 1990 alkutilanteen vaaitustuloksiin.



Kuva 18: Betonitien vaaitustulokset keskilinjän kohdalta paaluvälillä 3410 - 4400: elokuu-90/huhtikuu-91, elokuu-90/syyskuu-91 ja elokuu-90/elokuu-93



## 3.2 Päällysteen kunnan seuranta

### 3.2.1 Kunto-/vaurioinventointi

Betonipäällysteen kuntoa ja vaurioita on seurattu vuosittaisin vaurioinventoinnein. Inventointi on tehty silmämääräisesti tarkastamalla kaikki laatat ja kirjaamalla esiintyvät vauriot A4-kokoisille laattakartoille. Vaurioiden kehittymistä on seurattu ja muutokset on kirjattu ylös.

Päällysteen varsinainen kuntoinventointi oli tarkoitus tehdä syksyllä 1990 päällysteen lopullisesti valmistuttua. Rakennusaikana esiin tulleiden vaurioiden ja niiden korjaustarpeiden kartoittamiseksi tehtiin ensimmäinen inventointikierrös heinäkuussa 1990. Inventointi tehtiin yhdessä rakennuttajan kanssa.

Ensimmäisen inventoinnin ajankohtana päällysteen pinta oli suuren osan aikaa sateen kastelema. Lisäksi käytettiin keinokastelua. Kastelun jälkeen ja laatan pinnan kuivuttua halkeamat näkyivät erinomaisesti halkeamaan imeytyneen kosteuden ansiosta. Kastelun vaikutus oli lyhytaikainen. Sateen täysin kastelemasta tai täysin kuivasta pinnasta hiushalkeamien havaitseminen oli vaikeata.

Inventointiajankohtana pientareet olivat osittain täyttämättä ja suurimmaksi osaksi asfaltoimatta. Saumat oli sahattu, mutta saumausta ei oltu tehty. Betonilaatat olivat levitystyön jäljellä, eli työn aikana tulleita vaurioita ei ollut korjattu. Havaittujen halkeamien pituus ja leveys merkittiin laattakartoille. Jos kysymyksessä oli alle 0,2 m leveä halkeama, ei leveyttä merkitty. Kaikki laatoissa havaitut virheet kirjattiin.

10 - 16.7.1990 tehdyssä kuntoinventoinnissa havaittiin erilaisia vaurioita seuraavasti:

- \* 281 kpl alle 0,2 mm leveitä halkeamia, yhteispituus 77,72 m
- \* 216 kpl yli 0,2 mm leveitä halkeamia, yhteispituus 125,63 m
- \* 56 kpl koloja ja 26 koloutunutta aluetta
- \* 44 kpl lohkeamia
- \* 49 kpl muita vaurioita, esim epätasainen pinta.

Yli 0,2 mm leveät halkeamat korjattiin injektoimalla ne halkeaman viereen poratun reiän kautta. Injektointi tehtiin Araldit By 158:lla. Alle 0,2 mm leveät halkeamat impregnoitiin eli siveltiin pinnalta injektointiaineella. Injektointiaine imeytyi pinnalta hiushalkeamaan. Impregnoinnissa käytettiin samaa injektointiainetta kuin varsinaisessa injektoinnissa, mutta kovetinta ei käytetty.

Ensimmäinen seurantaohjelman mukainen vaurioinventointi tehtiin keväällä 1991. Nastarengasliikenteen ansiosta sementtiliima oli kulunut ajoraiteiden kohdalta päällysteen pinnasta. Sementtiliiman alta oli paljastunut muutamia aiemmin havaitsematta jääneitä hiushalkeamia. Muutamat impregnoidut halkeamat olivat purkautuneet. Injektoimalla korjatuissa halkeamissa ei esiintynyt purkautumista.

Aiemmin havaitut pienemmät kolot olivat sementtiliiman kulumisen mukana tasoittuneet. Rakentamisen aikana syntyneet lohkeamat oli korjattu betonil-

la. Laattasaumojen kohdalla olleita pienempiä lohkeamia oli täytetty saumamassalla.

Talvikaudella oli päällysteeseen purkautumisen takia syntynyt yksi suuri reikä paalun 3460 kohdalle. Eräissä kohdissa saumojen kohdalla betoni oli kulunut huomattavasti. Muutoin päällyste oli hyvässä kunnossa.

Toinen seurantaohjelman mukainen vaurioinventointi tehtiin keväällä 1992. Betonipäällyste oli eräissä injektoiduissa kohdissa kulunut siten, että injektointiaine betonia kovempaa oli jäänyt noin 5 mm betonipäällysteen pinnan yläpuolelle. Aiemmin havaitut vauriot oli korjattu, eikä huomattavia uusia vaurioita ollut syntynyt.

Kolmas seurantaohjelman mukainen vaurioinventointi tehtiin kesällä 1994. Edellisen inventointikierron jälkeen päällysteen pinta oli odotetun mukaisesti tasaisesti kulunut ajokaistojen kohdilla. Kuluminen seurauksena aiemmin havaitut pienet kolot ja epätasaisuudet olivat tasoittuneet. Samoin aiemmin havaittua eräiden impregnoitujen halkeamien reunojen purkautumista ei pintakulumisen takia enää juurikaan ollut havaittavissa. Aiemmin havaittuja lohkeamia ja laatan reunojen purkaumia oli korjattu betonilla.

Lähes koko tiepituudella betonilaattojen laidoilla keskisaumassa ja poikkisaumoissa lähinnä ajourien kohdilla oli havaittavissa jonkinasteista kulumista ja purkautumista. Purkautumisen seurauksena saumojen reunat olivat pyöristyneet. Varsinaista laatan pintapurkautumista oli lievemässä muodossa havaittavissa useissa kohdissa. Vakavaa laatan pintapurkautumista oli tapahtunut yhdessä kohdassa pl 6230 kohdalla laatoissa nro 1131 ja 1133.

Laattasaumojen reunoilla oli koko betonipäällysteosuudella edelliseen inventointikierrukseen verrattuna huomattavasti enemmän pieniä lohkeamia. Lohkeamien syvyys oli noin 1 - 2 cm. Lohkeamat ovat ilmeisesti seurausta talvikunnossapidossa käytettävien tiehöyliä teristä. Tiehöyliä terien jälkiä näkyy myös päällysteen pinnassa.

Välittömästi Kokkokankaan sillan eteläpuolella vasemman kaistan betonipäällysteen vasemmassa reunassa on betonin pintakulumisen jälkeen näkyviin tullut kolmessa laatussa kussakin yksi saumaraudan pää. Näkyviin tulleet saumaraudat sijaitsevat kaikki samalla etäisyydellä laatan vasemmasta reunasta.

### 3.2.2 Saumojen tarkastus

Saumojen tarkastus on tehty päällysteen kunto- ja vaurioinventointien yhteydessä. Päällysteen rakennusaikaisen kuntoinventoinnin aikana saumaustyötä ei vielä oltu tehty. Varsinaiseen rakennustyöhön kuuluva saumaus tehtiin käyttäen saumanauhana Moosgummi-Rundschnur EPPM:ää ja saumamassana pohjosiin oloihin tarkoitettua Superplastic-saumamassaa sekä sen kanssa käytettävää primeria.

Ensimmäisenä talvena 1990 - 1991 saumamassa vaurioitui ja irtosi lähes kaikista saumoista. Rakennuttaja tarkasti saumojen vaurioitumisasteen ja totesi lähes kaikki saumat vaurioituneiksi.

Keväällä 1991 saumojen inventointi tehtiin kaikkien saumojen osalta paaluvälillä 3660 - 5150 (laatat nrot 100 - 700). Muualla saumojen kunto inven-



toitiin vain, mikäli viereisessä laatussa oli ollut muutakin huomioitavaa. Tällä tavalla tuli inventoiduksi noin puolet kaikista saumoista. Loppuja saumoja ei inventoitu, koska lähes kaikissa saumoissa oli vaurioita ja tiedettiin tulevasta täydellisestä saumauksen uusimisesta.

Kesällä 1991 kaikki poikkisaumat uusittiin lukuunottamatta paalulla 3790 (laatat nrot 151 ja 152) olevia normaalilevyisiä koesaumoja ja paaluvälillä 7000 - 7100 (laatat nrot 1439 - 1480) olevia 4 mm leveitä koesaumoja. Pituussaumoihin ei koskettu. Saumaus tehtiin käyttäen saumanauhana Moosgummi-Rundschnur EPPM:ää ja saumamassana arktisiin oloihin tarkoitettua Superplastic-saumamassaa ilman primeria.

Sekä vuonna 1990 että 1991 tehdyissä saumauksissa saumaura täytettiin varsinaisella saumamassalla lähes täyteen ja paikoin jopa ylikin betonipäällysteen pinnan tason.

Keväällä 1992 saumat olivat pääsääntöisesti vaurioitumattomia. Vain muutamassa saumassa saumamassa oli irronnut tai poissa.

Saumamassa irtosi laajassa mitassa jälleen talvella 1992/1993. Kesällä 1993 keskisauma ja kaikki poikkisaumat uusittiin lukuunottamatta paaluvälillä 7000 - 7100 (laatat nrot 1439 - 1480) olevia 4 mm leveitä koesaumoja. Betonin ja asfaltin välisiä pituussaumoja ei uusittu.

Saumat uusittiin käyttäen saumalistoja, jotka olivat Phoenix EPDM-kumia. Mitään lisäaineita ei käytetty tartukkeena, vaan saumalistan muoto saa aikaan riittävän tartunnan. Ennen listojen asennusta vanha saumamassa poistettiin ja saumat sahattiin 10 mm leveinä aiempaa syvemmiksi. Saumalistat asennettiin siten, että listan yläpinta jäi 2 cm betonipäällysteen pinnan alapuolelle.

### 3.2.3 Betonitien kuntorekisteri ja kuntorekisterin päivitys

#### Betonitien kuntorekisteri

Betonipäällysteen kunnon ja vaurioiden seurantaan sekä tietojen tallentamiseen on kehitetty betonitien kuntorekisteri BETO. Ohjelma on toteutettu MS-DOS pohjaisille mikrotietokoneille Paradox-tietokantaohjelmalla ja C-kielellä. Ensimmäinen kuntorekisterin versio BETO 1.0 valmistui syksyllä 1990. Ensimmäisen vaurioinventoinnin tulosten tallennuksen aikana saatujen käyttökokemusten perusteella kuntorekisteriä kehitettiin. Kuntorekisterin nykyinen versio BETO 1.5 valmistui kesällä 1991.

Kuntorekisterin laattakartoille tallennetaan graafisesti piirtämällä inventoinnin yhteydessä havaitut vauriot. Taulukko-osassa vaurioista voidaan antaa lisätietoja. Laattakartat lisätietoineen voidaan tulostaa paperille A4-koossa.

Suunniteltujen ja toteutuneiden korjausten kustannukset voidaan laskea omassa taulukko-osassaan. Eri aikoina tehtyjen routavaaitusten tuloksia sekä laatan ja pientareen asemaa voidaan verrata omassa taulukko-osassaan.

Kaikki toimenpiteet ja laskennat voidaan tehdä joko koko tien osalla tai vain haluttujen laattojen osalta.



### Kuntorekisterin päivitys

Kuntorekisterin päivitys on tehty inventointikierrosten jälkeen. Kunkin inventointikierroksen jälkeinen tilanne on tallennettu tiedostoon, josta se laatta-kohtaisesti selattavissa tai kopioitavissa. Laattakarttojen paperitulosteita ei ole tarkoitus erikseen tallentaa jokaisen inventointikierroksen jälkeen. Laattakarttojen viimeisin tilanne on kuitenkin aina paperitulosteena käytettävissä seuraavan inventointikierroksen maastokappaleena.

Tähän mennessä korjaustoimenpiteitä ei ole suunniteltu, eikä siten myöskään korjauskustannuksia ole arvioitu kuntorekisteriä hyväksikäyttäen. Routavaaitustulokset sekä laatan ja pientareen asema on laskettu kuntorekisterin laskentaosan avulla. Näiden laskentojen tulokset on tulostettu paperille ja kansioitu.

## 3.3 Keli, kunnossapito ja liikenne

### 3.3.1 Sää- ja kelihavainnot

Oulun tiepiirin yksi tiesääasema sijaitsee betonitiellä Ouluntullin levähdysalueen yhteydessä. Tiesääasema kerää tietoja sää- ja kelitiedoista mm. betonipäällysteeseen asennetun anturin avulla. Tiesääasema rekisteröi tiedot tien pinnan lämpötilasta ja vallitsevasta kelistä. Rekisteröitäviä kelityyppejä on 8 kpl. Keliolosuhteista rekisteröidään märkyys, suolaisuus sekä lumi- ja jääolosuhteet. Vallitsevat keliolosuhteet rekisteröidään keskimäärin kolme kertaa tunnissa.

Halutut tiedot voidaan poimia rekisteristä. Vuorokauden aikana vallinneet erilaiset keliolosuhteet voidaan tulostaa summana h/vrk.

Kelitietoja on käytettävissä 17.1.1992 - 30.11.1994 väliseltä ajalta. Käytettävissä olevat kelitiedot on esitetty taulukossa 13. Tuloksista puuttuvat ne päivät ja kuukaudet joilta ei ole mittaustuloksia. Mittaustuloksia ei myöskään ole kaikilta päiviltä vuorokauden kaikilta tunneilta. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on esitetty niiden päivien lukumäärä, joilta kyseessä olevalta kuukaudelta on mittaustuloksia / mittauspäivien lukumäärä kerrottuna 24:llä. Tämä viimeinen lukema vastaa kyseisten mittauspäivien maksim tuntimäärää.

Kelianturin toiminnassa on ollut ongelmia, minkä vuoksi anturi on vaihdettu kerran. Silmämääräisten havaintojen perusteella kelin muutosvaiheessa anturi ei anna täsmälleen vallitsevia olosuhteita vastaavia tuloksia. Rekisteröityihin kelitietoihin täytyy tämän vuoksi suhtautua tietyllä varauksella.

Taulukko 13: Kelitiedot Ouluntullin tiesääasemalla 1992 - 1994

1992	Vallinnut keli tunteina									Mittaus- päivien lkm/lkmx24
Kuukausi	Kuiva	Kostea	Märkä	Märkä/ suola	Kuura	Lumi	Jää	Kostea/ suola	Yht. h	
Tammikuu	57	0	8	21	168	1	0	12	268	13/312
Helmikuu	288	9	4	70	154	8	0	149	682	29/696
Maaliskuu	313	75	88	41	57	9	0	97	682	31/744
Huhtikuu	189	2	0	0	0	0	0	13	204	11/264
Toukokuu	707	6	19	0	0	0	0	0	732	31/744
Kesäkuu	687	4	28	0	0	0	0	0	719	30/720
Heinäkuu									0	0/0
Elokuu									0	0/0
Syyskuu									0	0/0
Lokakuu	619	5	14	0	22	39	0	42	741	31/744
Marraskuu	208	1	31	32	264	46	0	138	720	30/720
Joulukuu	217	6	128	34	202	17	0	17	621	27/648
Yhteensä	3285	109	320	198	868	121	0	469	5369	233/5592

1993	Vallinnut keli tunteina									Mittaus- päivien lkm/lkmx24
Kuukausi	Kuiva	Kostea	Märkä	Märkä/ suola	Kuura	Lumi	Jää	Kostea/ suola	Yht. h	
Tammikuu	150	0	0	1	60	10	0	22	243	11/264
Helmikuu	401	1	16	8	182	7	0	50	665	28/672
Maaliskuu	442	3	41	53	86	14	0	102	741	31/744
Huhtikuu	620	4	77	1	0	9	0	9	720	30/720
Toukokuu	739	0	0	0	0	0	0	0	739	31/744
Kesäkuu	601	0	0	0	0	0	0	0	601	30/720
Heinäkuu	181	0	0	0	0	0	0	0	181	28/672
Elokuu	258	0	0	0	0	0	0	0	258	28/672
Syyskuu	669	7	4	0	2	0	0	0	682	30/720
Lokakuu	495	15	84	31	50	4	0	61	740	31/744
Marraskuu	428	12	41	9	140	0	0	66	696	30/720
Joulukuu	194	0	4	19	100	14	0	58	389	19/456
Yhteensä	5178	42	267	122	620	58	0	368	6655	327/7848

1994	Vallinnut keli tunteina									Mittaus- päivien lkm/lkmx24
Kuukausi	Kuiva	Kostea	Märkä	Märkä/ suola	Kuura	Lumi	Jää	Kostea/ suola	Yht. h	
Tammikuu	67	0	0	0	63	0	0	3	133	6/144
Helmikuu	232	0	0	0	429	8	0	27	696	28/672
Maaliskuu	373	2	18	56	91	28	0	162	730	31/744
Huhtikuu	656	3	72	0	6	0	0	1	738	30/720
Toukokuu	371	0	0	0	0	0	0	0	371	16/384
Kesäkuu	5	0	0	0	0	0	0	0	5	5/120
Heinäkuu									0	0/0
Elokuu									0	0/0
Syyskuu	157	3	0	0	0	0	0	0	160	8/192
Lokakuu	356	9	145	24	53	2	0	21	610	29/696
Marraskuu	112	18	15	34	113	6	0	95	393	21/504
Joulukuu									0	0/0
Yhteensä	2329	35	250	114	755	44	0	309	3836	174/4176



### 3.3.2 Kunnossapitotoimenpiteet

Betonitien kunnossapitoon liittyvästä puhtaanapidosta ja liukkaudentorjunnasta on huolehtinut Kempeleen tiemestaripiiri. Liukkaudentorjunnassa varauduttiin muilta betoniteiltä saatujen ennakkotietojen perusteella ongelmiin. Betoniestä ilmoittavaa yleistä huomiomerkkiä käytettiin kahtena ensimmäisenä talvena. Nytemmin merkin käytöstä on luovuttu. Ennen pinnan sementtiliiman kulumista päällyste oli liukkaampi kuin asfaltti. Alkukulumisen jälkeen ei ole havaittu huomattavaa eroa.

Betonipäällyste toimii lämpövarastona, johon ilman lämpötilan muutos vaikuttaa hitaasti. Alkusyksyllä betonipäällyste ei ole jäässä, kun asfaltin pinta jäätyy. Keväällä betonipäällyste toimii vastaavasti pakkasvarastona. Talvela betonipäällysteelle syntyvän kuuran liippautuminen liikenteen ansiosta aiheuttaa liukkautta. Ajoittain liukkautta on täytynyt torjua pelkästään betonitiellä.

Betonipäällysteen liukkaudentorjunta vaatii jonkin verran lisähuomiota. Betonipäällysteeseen maalatut tiemerkinnot kestävät huonosti nastarenkaiden kuluttavaa vaikutusta. Maalimerkinnot kuluvat pois muutamassa viikossa nastarengaskauden alettua. Yleisesti ottaen betonipäällysteen kunnossapidon ei ole havaittu huomattavasti poikkeavan asfalttipäällysteen kunnossapidosta.

### 3.3.3 Liikenteen laatu ja määrä

Liikenteen laadun ja määrän seurantaan varten asennettiin tierakenteeseen vaakalaite ja induktiosilmukoita. Tarkkailupiste sijaitsi betonitien eteläpäässä asfalttisuudella välittömästi betonipäällysteen ulkopuolella.

Vaakalaitteessa todettiin alusta alkaen rakenteellisia ongelmia. Vaakalevyjen kiinnitys elementtiin ei ole ollut kestävä. Tierakenne ja vaakalaite painuivat ja vaakalaite vaati jatkuvaa kalibrointia. Epävarmuustekijöistä johtuen saatavissa olevat tulokset eivät suurelta osin olleet luotettavia. Vaakalaite poistettiin vuonna 1993.

Tarkistettujen yksittäisten vaaitustulosten perusteella yli 12,5 t painavan raskaan liikenteen määrä pohjoisesta etelään on 1,2...1,5-kertainen vastakaiseen suuntaan verrattuna. Tiemestarin tekemien havaintojen mukaan etelästä Oulun Nuottasaareen tuleva raskas liikenne käyttää Kempeleen läpi kulkevaa vanhaa nelostietä.

Liikennemäärät on rekisteröity tierakenteeseen asennettujen induktiosilmukoiden ja niihin liittyvän tiedonkeräysyksikön avulla. Tierekisterin mukaiset betonitien (vt 4 tieosa 365) ja asfalttipäällysteisen vertailuosuuden (vt 4 tieosa 367) liikennemäärät on esitetty taulukossa 14. Asfalttipäällysteisen vertailuosuuden pituus on 4 km ja se sijaitsee Kiviniemen eritasoliittymästä pohjoiseen.



*Taulukko 14: Betonitien ja asfalttipäällysteisen vertailuosuuden liikennemäärät 1991-1994*

<b>Betonitie, vt 4 tieosa 365</b>			
Vuosi	Keskivuorokausi -liikenne kpl	Raskaan liikenteen osuus %	Raskaan liikenteen lukumäärä kpl
1991	12670	11	1394
1992	14100	9	1269
1993	13959	9	1256
1994	13335	8	1067
<b>Vertailuosuus, vt 4 tieosa 367</b>			
Vuosi	Keskivuorokausi -liikenne kpl	Raskaan liikenteen osuus %	Raskaan liikenteen lukumäärä kpl
1991	18900	9	1701
1992	20200	8	1616
1993	19998	8	1600
1994	19224	6	1153

### 3.3.4 Liikenneturvallisuus

Betonipäällysteen vaikutusta liikenneturvallisuuteen on selvitetty vertaamalla onnettomuusmääriä betonitien ja asfalttipäällysteen välillä. Tiedot ovat poliisin tietoon tulleista onnettomuuksista. Poliisin tietoon pitäisi periaatteessa tulla kaikki henkilövahinkoihin johtaneet onnettomuudet. Vakuutusyhtiöiden tietoon tulleet mahdolliset muut onnettomuudet eivät sisälly lukuihin.

Vertailutiedot on kerätty 4 km pitkältä asfalttipäällysteosuudelta Kiviniemen eritasoliittymästä Oulun suuntaan (vt 4 tieosa 367). Kiviniemen ja Poikki-  
maantien eritasoliittymien rampeilla ja ramppien päissä tapahtuneet onnettomuudet eivät sisälly lukuihin. Onnettomuustiedot on jaoteltu onnettomuustyyppin, valaistuksen ja keliolosuhteiden mukaisesti. Kaikki onnettomuudet huomioonottaen onnettomuustiheys on asfalttipäällysteosuudella ollut kaksinkertainen betonipäällysteosuuteen verrattuna.

Tarkastellut tieosuudet ja tarkastelu-aika ovat suhteellisen lyhyitä. Vuonna 1991 vertailuosuuden kokonaisliikennemäärä oli noin 19000 ajoneuvoa, eli noin 6000 ajoneuvoa enemmän kuin betonitiellä. Kokonaisuonnettomuusmäärät ovat suhteellisen pieniä. Tuloksista ei vielä tässä vaiheessa voida vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Yhteenveto onnettomuustilastosta on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15: Onnettomuudet betonitiellä ja asfalttipäällysteisellä vertailusuudella 1.10.1990 - 31.8.1994

	1.10.1990-18.9.1992		19.9.1992-31.8.1994	
	Betoni	Asfaltti	Betoni	Asfaltti
<b>Onnettomuuden vakavuus</b>				
Kuolemaan johtanut onnettomuus	-	1	-	-
Vammutumiseen johtanut onnettomuus	-	4	3	-
Henkilövahinkoihin johtanut onnettomuus	-	5	3	-
Kaikki onnettomuudet yhteensä	9	22	4	6
<b>Onnettomuustyyppi</b>				
Yksittäisonnettomuus	4	7	1	4
Eläinonnettomuus	-	3	-	1
Muu onnettomuus	5	12	3	1
<b>Henkilövahinkoihin johtanut onnettomuus/vaistus</b>				
Valoisa	-	2	2	-
Hämärä	-	1	-	-
Pimeä	-	-	1	-
Pimeä/tie valaistu	-	2	-	-
<b>Kaikki onnettomuudet/vaistus</b>				
Valoisa	5	11	2	4
Hämärä	-	2	-	-
Pimeä	-	-	2	-
Pimeä/tie valaistu	4	9	-	2
<b>Henkilövahinkoihin johtanut onnettomuus/keli</b>				
Kuiva	-	2	1	-
Märkä	-	1	-	-
Jäinen	-	2	2	-
Luminen	-	-	-	-
Sohjoinen	-	-	-	-
<b>Kaikki onnettomuudet/keli</b>				
Kuiva	3	9	1	4
Märkä	-	2	-	-
Jäinen	4	11	2	2
Luminen	1	-	-	-
Sohjoinen	1	-	1	-
<b>Onnettomuusaste</b>				
Henkilövahinkoihin joht. onnettomuudet	-	9,09	7,69	
Kaikki onnettomuudet	25,00	40,00	10,26	10,34
<b>Onnettomuustiheys</b>				
Henkilövahinkoihin joht. onnettomuudet	-	1,25	0,77	
Kaikki onnettomuudet	2,30	5,50	1,02	1,50
BET 4/365/0966-4887				
AB 4/367/0000-4000				
Ramppien onnettomuudet eivät ole mukana				

Onn./100 milj.ajon.-km

Onn./100 milj.ajon.-km

Onn./km

Onn./km



## 4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA ESITYS SEURANNAN JATKOTOIMENPITEIKSI

Betonipäällysteen rakennustyön aikana valmiiseen päällysteeseen syntyi paikoin halkeamia. Syntyneet halkeamat korjattiin injektoimalla. Korjatuista halkeamista ei ole ollut ongelmia eikä uusia halkeamia ole syntynyt.

Betonilaattojen välisten saumojen saumamassa irtosi talvella 1990 - 1991 lähes kaikista saumoista. Urakoitsija uusi saumauksen kesällä 1991 takuuehtojen mukaisesti. Korjaustyössä käytettiin arktisiin olosuhteisiin tarkoitettua saumamassaa ja takuuaikaa jatkettiin vuoden 1993 syksyyn. Saumamassa irtosi uudelleen talvella 1992 - 1993. Urakoitsija uusi saumauksen kesällä 1993. Korjaustyössä käytettiin erityisiä saumalistoja.

Valokuvatarkastelun avulla on tutkittu päällystebetonin kulumisen ja päällysteen pinnassa näkyvän 8...32 mm:n raekoon runkoaineuksen määrän välistä yhteyttä. Tutkimustulosten perusteella yhteys on olemassa. Betonitien alkuosuudella keskimääräistä enemmän kuluneella osuudella päällysteen pinnalla näkyvän ja myös betonilaatan keski- ja alaosassa koekappaleiden sahauspinnoilla näkyvän 8...32 mm:n raekoon runkoaineuksen osuus on huomattavasti pienempi kuin normaalisti kuluneella alueella.

Betonitien alkuosuudella oikean kaistan muuta tieosaa suurempi kulumisen on ilmeisesti seurausta kiviaineuksen lajittumisesta ja/tai betonimassan koostumuksesta ja siitä johtuvasta huonosta kulutuskestävyydestä. Kuluminen on muuta tieosaa suurempaa vain lyhyellä osuudella. Suurimmalla osalla betonitiestä päällyste on kulunut ennako-odotusten mukaisesti.

Tien pinta on silttipehmeikön kohdalla paaluvälillä 3410 - 4370 painunut yhteensä noin 500 m:n matkalla. Painuminen on tien poikkileikkaukseen nähden ollut tasaista, enimmillään noin 12,5 cm. Painuminen ei ole aiheuttanut havaittavia vaurioita päällysteeseen.

Betonipäällysteen kunnossapito ei ole merkittävästi eronnut asfalttipäällysteen kunnossapidosta. Betonipäällysteen liukkaudentorjunta vaatii jonkin verran lisähuomiota toimenpiteiden ajoituksen suhteen. Betonipäällysteeseen maalatut tiemerkinnot kestävät huonosti nastarenkaiden kulutusta.

Betonitien alkuosuuden nopeampi ja keskimääräistä suurempi kulumisen aiheuttanee tarvetta kunnossapitotoimenpiteisiin lähivuosina tällä osuudella. Tutkimustulosten perusteella arvioiden on mahdollista, että esimerkiksi 2 cm:n jyräisyvytyksellä ei välttämättä saavuteta kulutuskestävyydeltään riittävän hyvää betonikerrosta. Kunnossapitotoimenpiteiden suunnittelua varten tulisi tarkemmin selvittää toteutunut betonipäällystemassan koostumus. Tämä tapahtuisi esimerkiksi hajottamalla happokäsittelyllä eri kerroksista otetut koekappaleet osiin ja määrittämällä toteutuneet runko- ja sideaineiden suhteet ja osuudet päällysteen eri kerroksissa.

Betonipäällysteen käyttäytymisessä tai ominaisuuksissa ei neljän ensimmäisen käyttövuoden aikana alkuosuuden oikean kaistan muuta tieosaa suurempaa kulumista lukuunottamatta ole tullut esille mitään ennako-odotuksista merkittävästi poikkeavaa. Betonitien seurantaohjelman toteuttamista jatketaan alkuperäistä ohjelmaa suppeampana siten, että siinä pääasiallinen seuranta kohdistuu betonipäällysteen sopivuuteen ja kokonaistaloudellisuuteen kylmän talven olosuhteissa. Muilta osin ohjelmaa tullaan su-

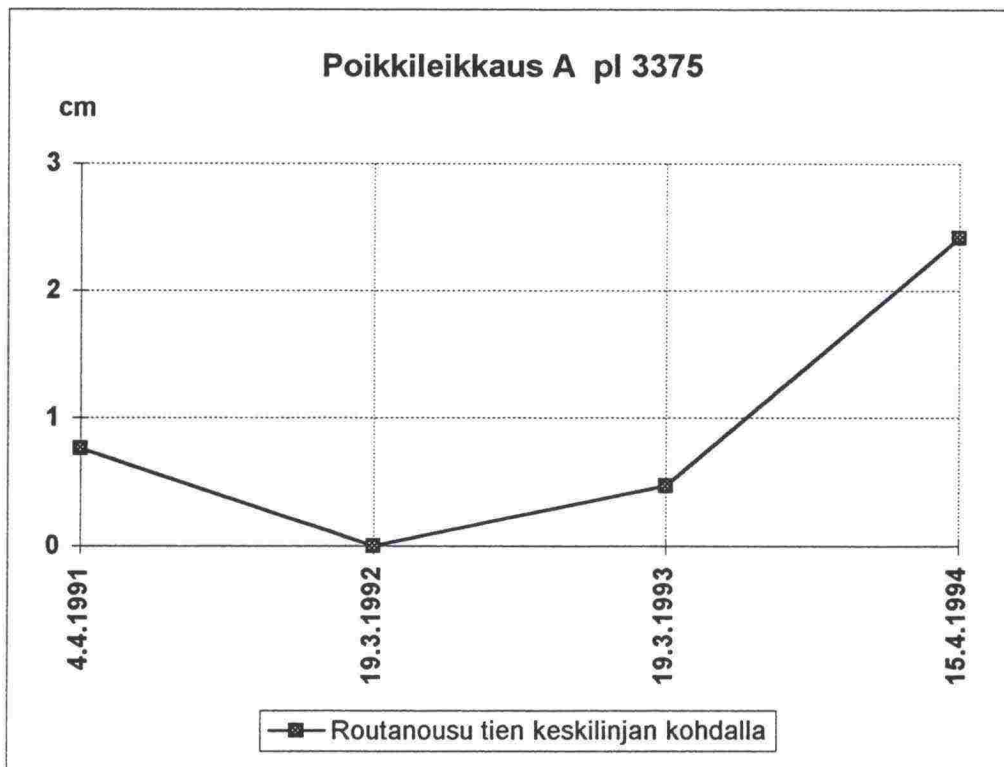
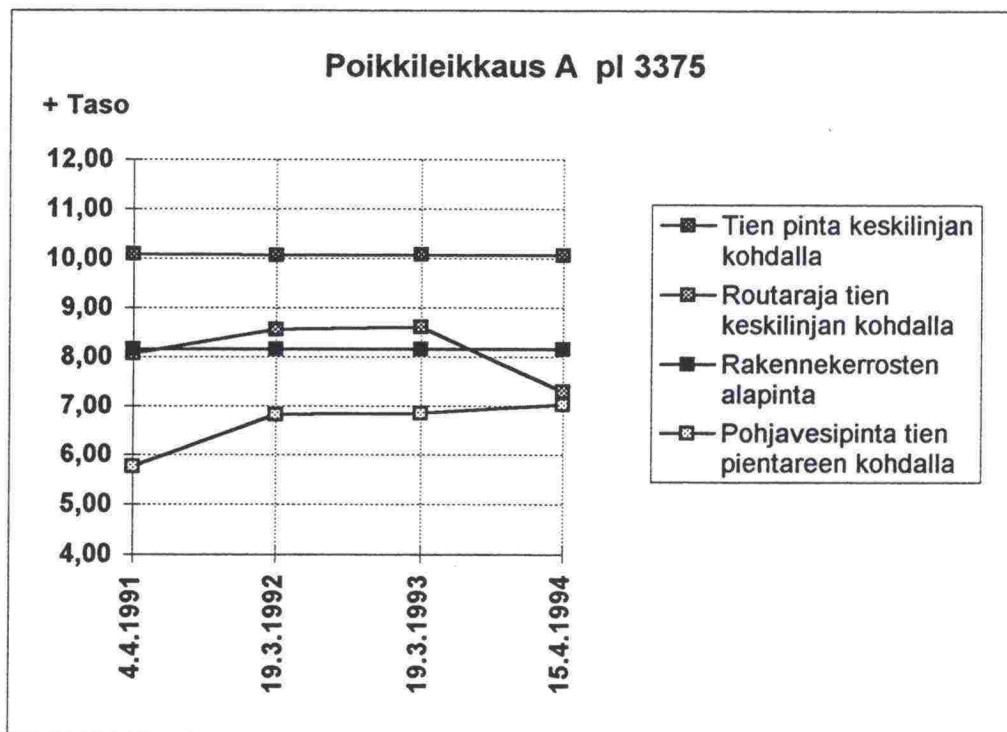


pistamaan ja sopeuttamaan keskitetty tiedonkeruu täydentämään Uudenmaan ja Hämeen tiepiirien uusimpien betonipäällysteiden seurantaa. Tien alkuosan poikkeavien kulumisien vuoksi profilometrimittaukset tehdään toistaiseksi vuosittain urautumisien kehittymisen ja siihen johtaneiden syiden selvittämiseksi.

## 5 LIITTEET

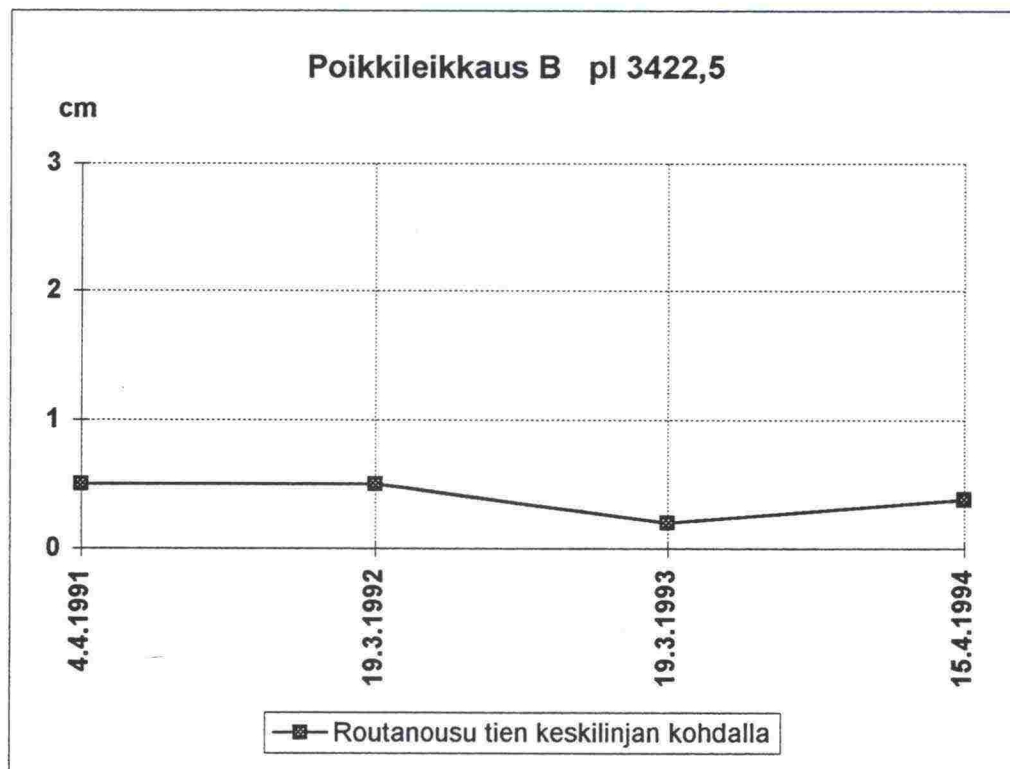
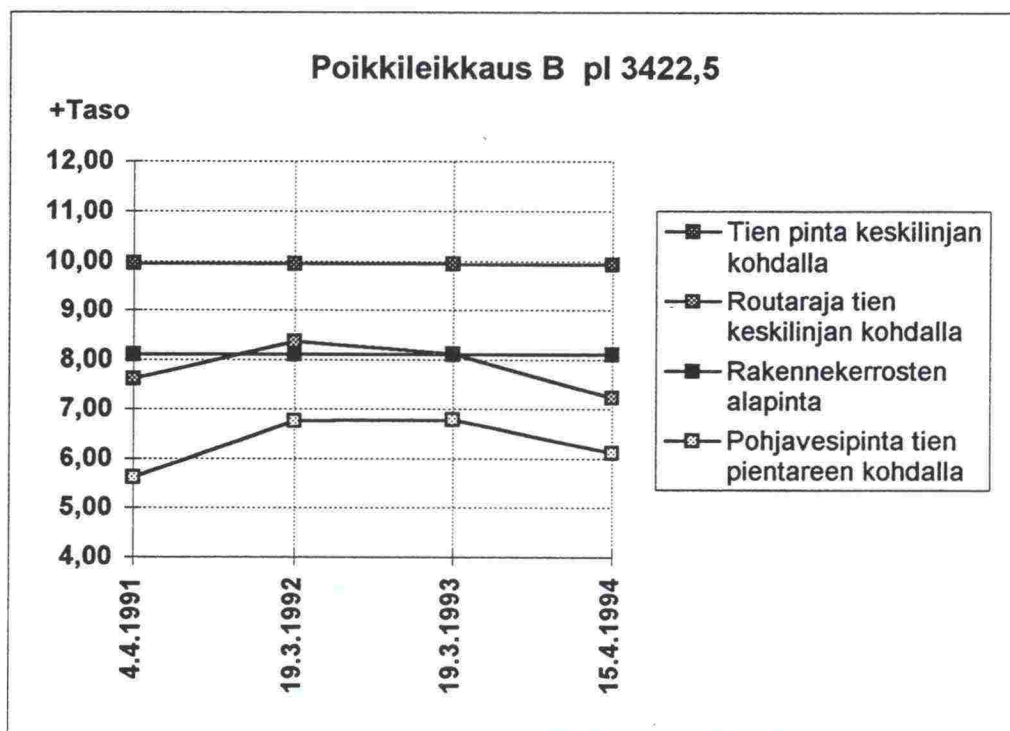
1. Routahavaintotulokset 1991 - 1994, poikkileikkaus A pl 3375
2. Routahavaintotulokset 1991 - 1994, poikkileikkaus B pl 3422,5
3. Routahavaintotulokset 1991 - 1994, poikkileikkaus C pl 5142,5
4. Routahavaintotulokset 1991 - 1994, poikkileikkaus D pl 6342,5
5. Valokuvatarkastelu, pl 3420, vasemm.kaistan reuna-uran pohja v.1993  
Valokuvatarkastelu, pl 3420, vasemm.kaistan reuna-uran pohja v.1994
6. Valokuvatarkastelu, pl 3420, oikean kaistan reuna-uran pohja v.1993  
Valokuvatarkastelu, pl 3420, oikean kaistan reuna-uran pohja v.1994
7. Valokuvatarkastelu, pl 3440, syvyys päällysteen pinnalta 6 cm  
Valokuvatarkastelu, pl 3440, syvyys päällysteen pinnalta 15 cm
8. Valokuvatarkastelu, pl 3620, oikean kaistan reuna-uran pohja v.1993  
Valokuvatarkastelu, pl 3620, oikean kaistan reuna-uran pohja v.1994
9. Valokuvatarkastelu, pl 4220, vasemm. kaistan keskiuran pohja v.1993  
Valokuvatarkastelu, pl 4220, vasemm. kaistan keskiuran pohja v.1994
10. Valokuvatarkastelu, pl 6415, vasemm. kaistan keskiuran pohja v.1993  
Valokuvatarkastelu, pl 6415, vasemm. kaistan keskiuran pohja v.1994
11. Valokuvatarkastelu, paalu 7055, syvyys päällysteen pinnalta 2 cm  
Valokuvatarkastelu, paalu 7055, syvyys päällysteen pinnalta 14,5 cm

## ROUTAHAVAINTOTULOKSET 1991 - 1994

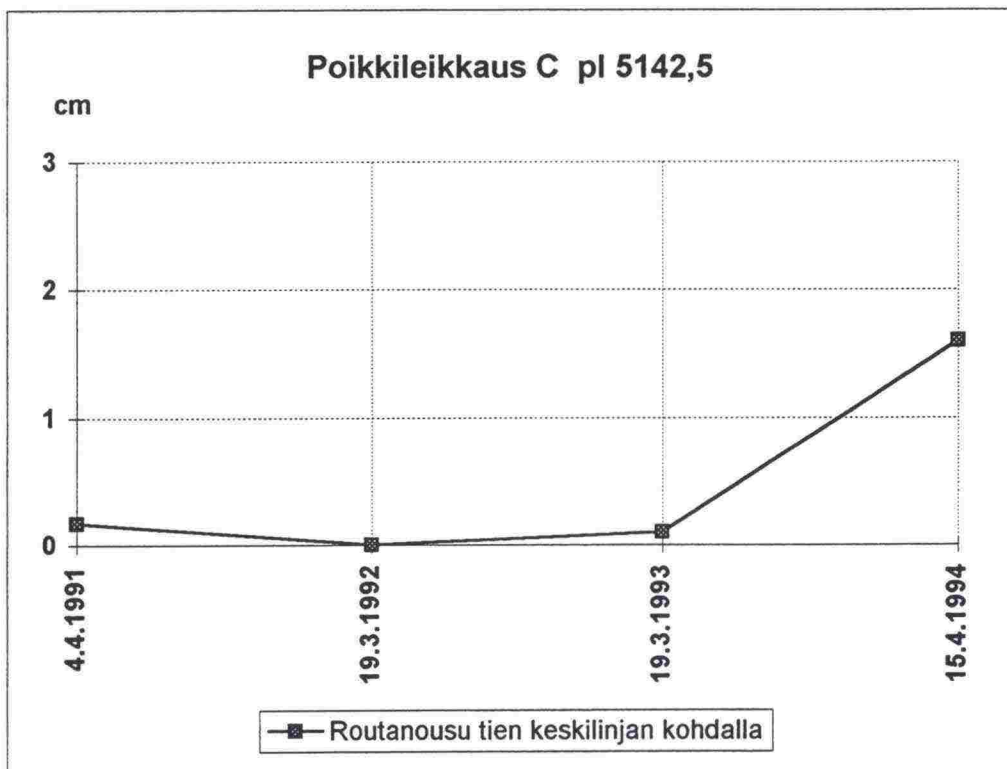
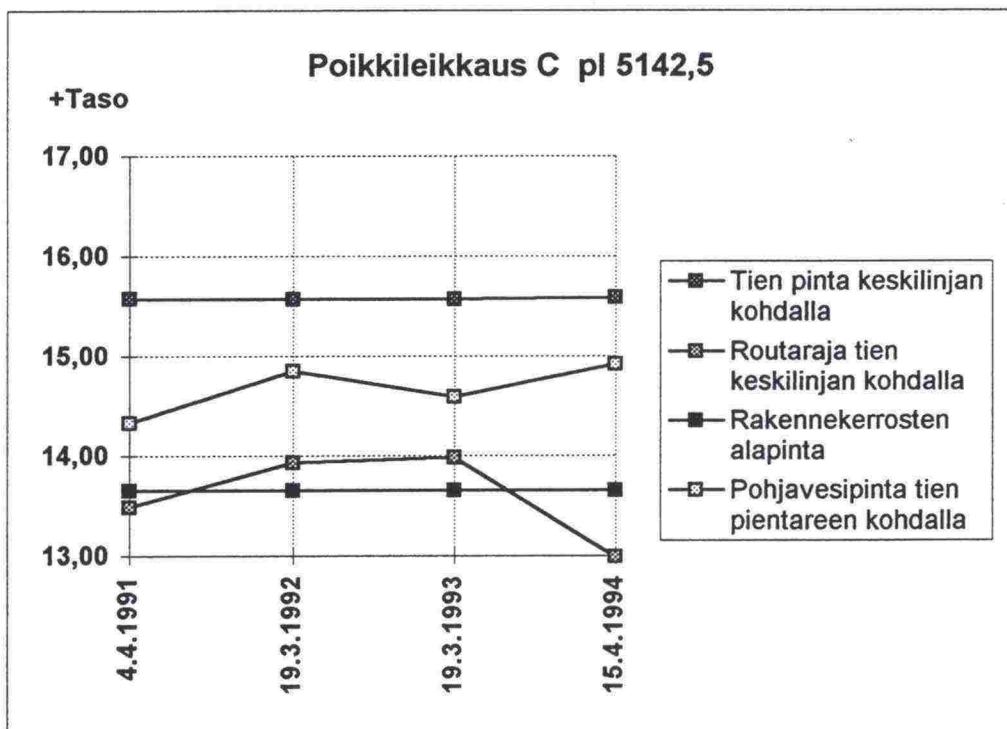




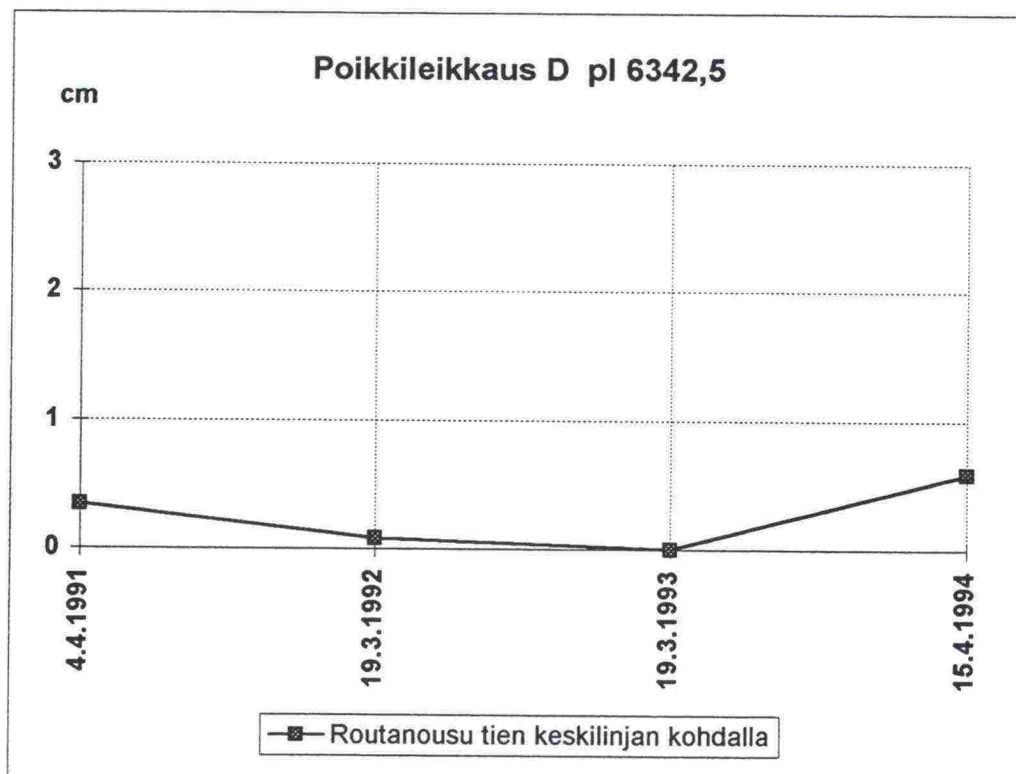
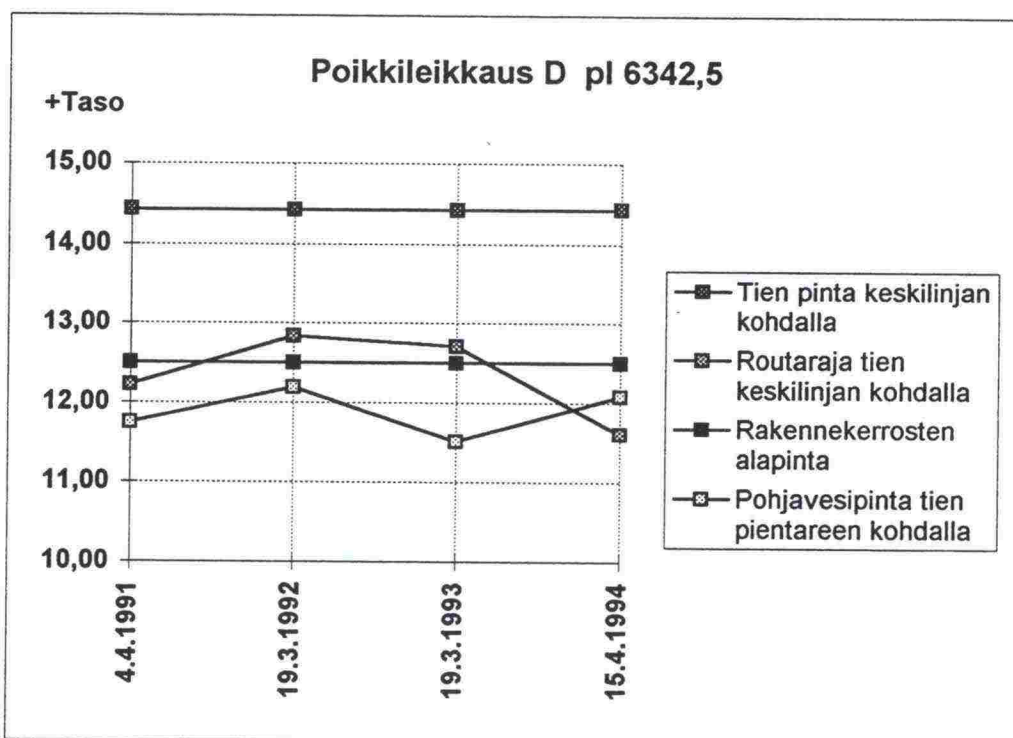
## ROUTAHAVAINTOTULOKSET 1991 - 1994



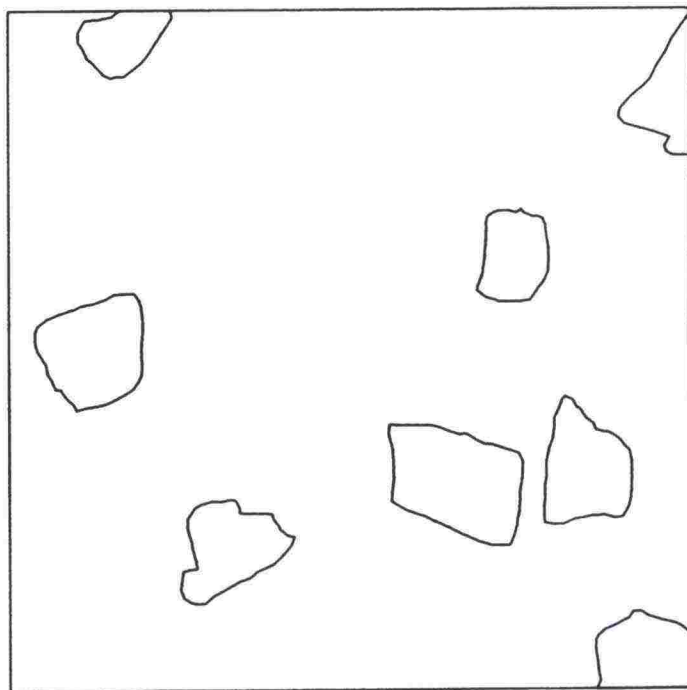
## ROUTAHAVAINTOTULOKSET 1991 - 1994



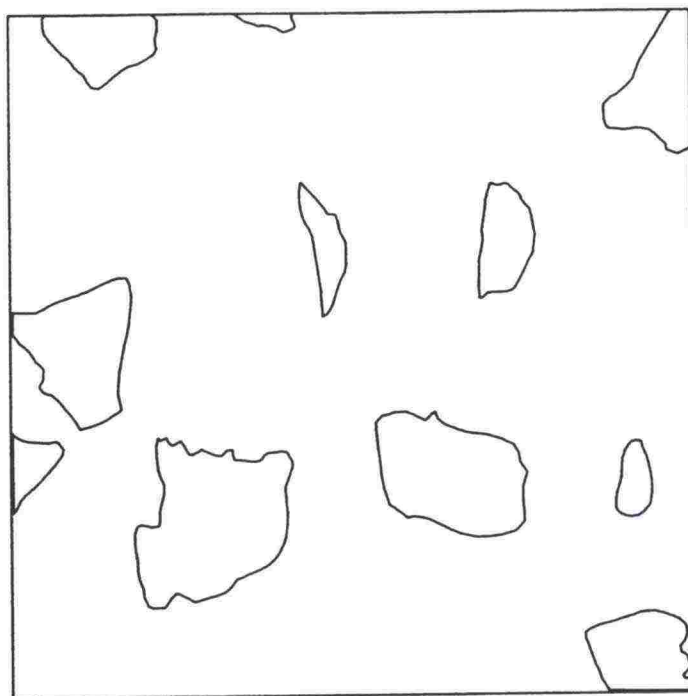
## ROUTAHAVAINTOTULOKSET 1991 - 1994



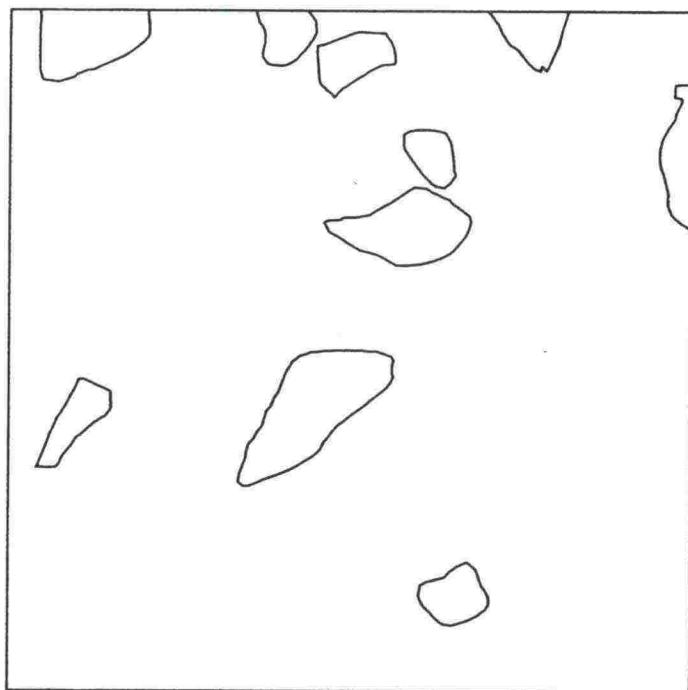




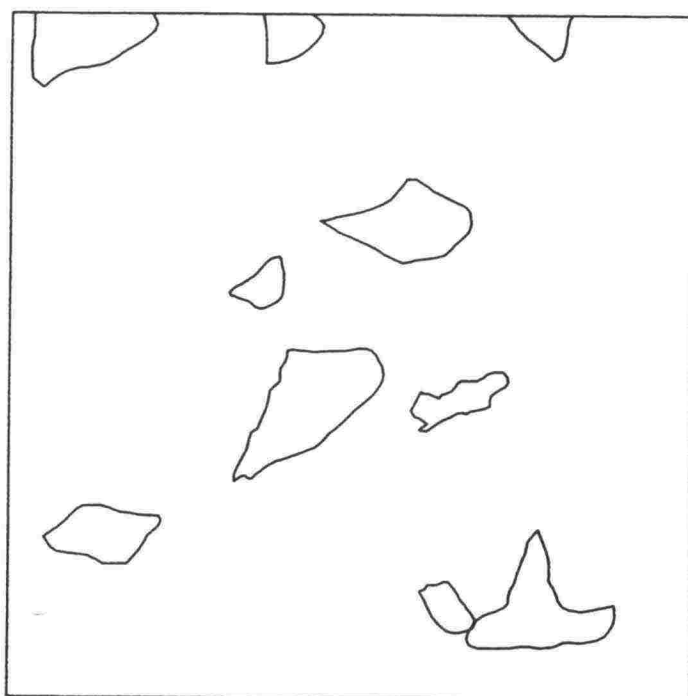
Valokuvatarkastelu, pl 3420, vasemman kaistan reunauran pohja v. 1993



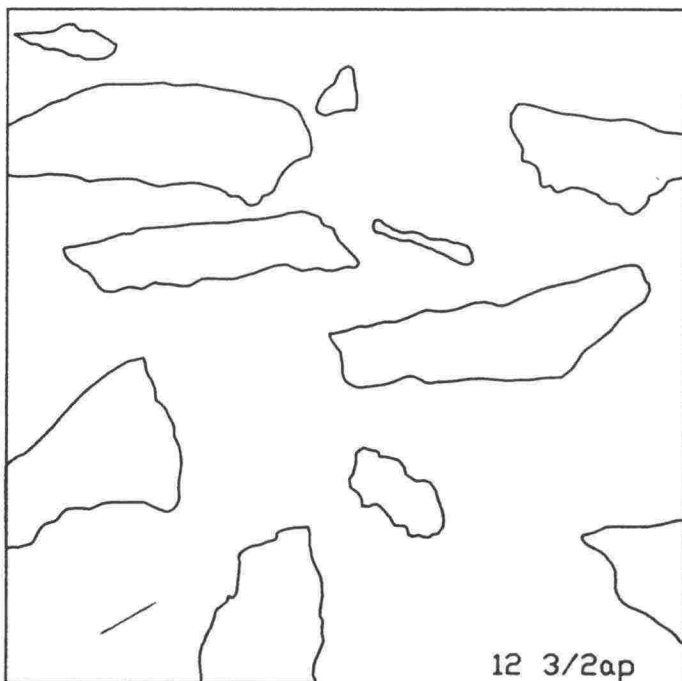
Valokuvatarkastelu, pl 3420, vasemman kaistan reunauran pohja v. 1994



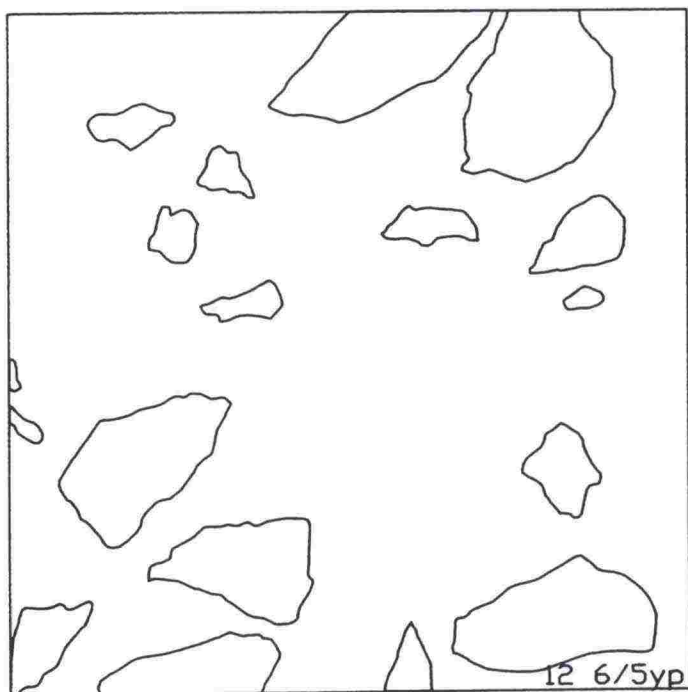
Valokuvatarkastelu, pl 3420, oikean kaistan reuna-auran pohja v. 1993



Valokuvatarkastelu, pl 3420, oikean kaistan reuna-auran pohja v. 1994

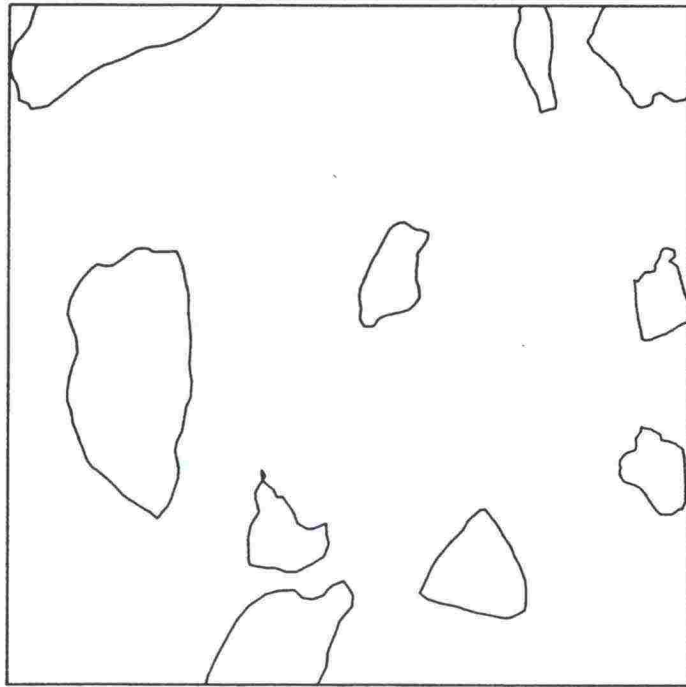


Valokuvatarkastelu, pl 3440, syvyys päällysteen pinnalta 6 cm



Valokuvatarkastelu, pl 3440, syvyys päällysteen pinnalta 15 cm

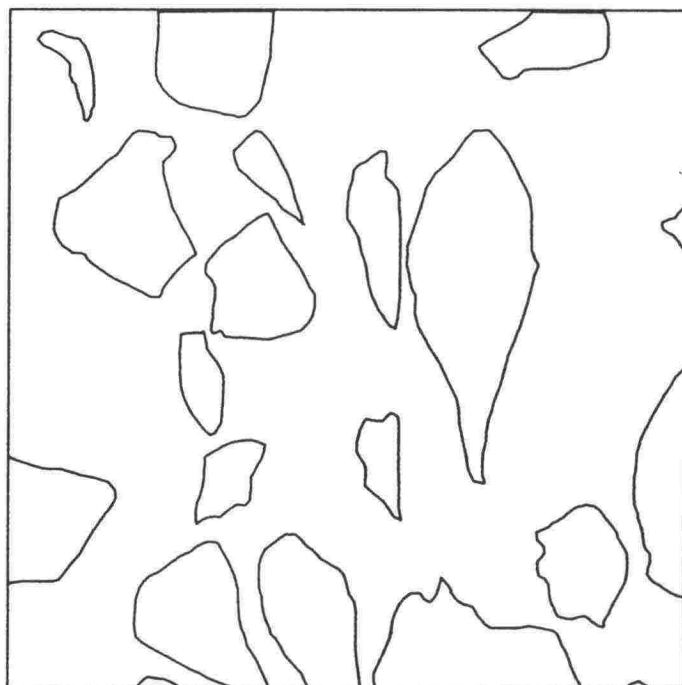




Valokuvatarkastelu, pl 3620, oikean kaistan reunauran pohja v. 1993



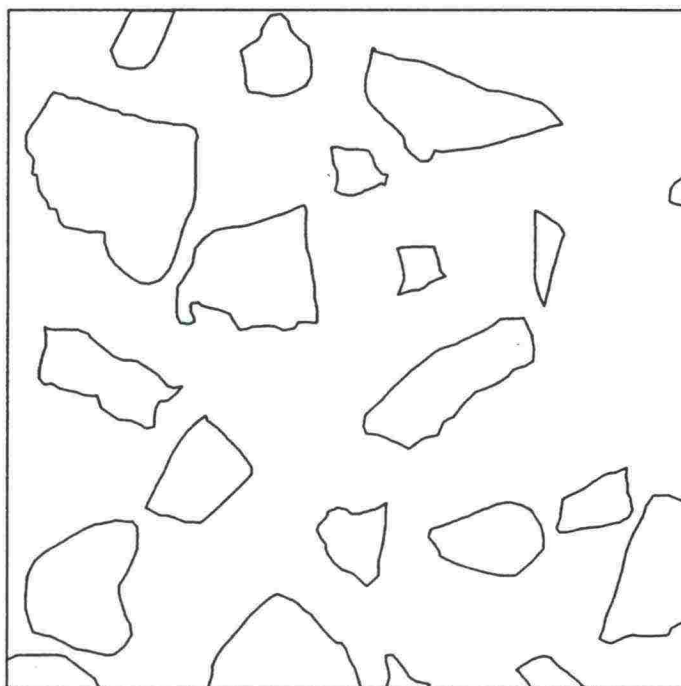
Valokuvatarkastelu, pl 3620, oikean kaistan reunauran pohja v. 1994



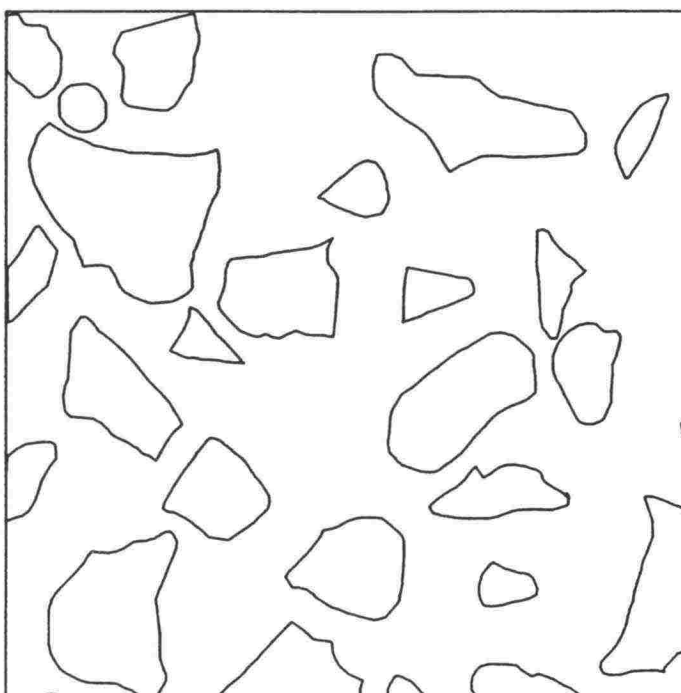
Valokuvatarkastelu, pl 4220, vasemman kaistan keskiuran pohja v. 1993



Valokuvatarkastelu, pl 4220, vasemman kaistan keskiuran pohja v. 1994

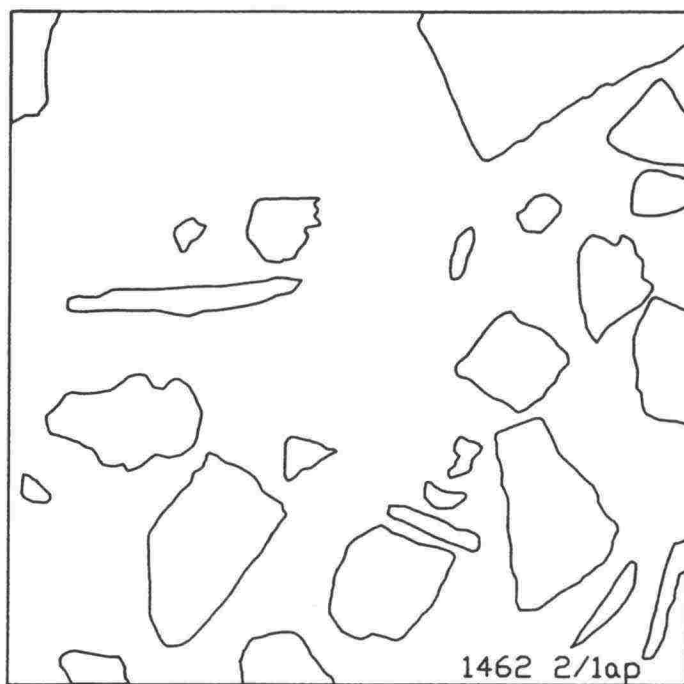


Valokuvatarkastelu, pl 6415, vasemman kaistan keskiuran pohja v. 1993



Valokuvatarkastelu, pl 6415, vasemman kaistan keskiuran pohja v. 1994





Valokuvatarkastelu, paalu 7055, syvyys päällysteen pinnalta 2 cm



Valokuvatarkastelu, paalu 7055, syvyys päällysteen pinnalta 14,5 cm

## **TIELAITOKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA**

- 32/1993 V-poikkileikkaus ja teräsverkot tierakenteissa; Tulokset V-poikkileikkauksen ja teräsverkkojen käyttökokeista tien pituussuuntaisten halkeamien ehkäisyssä. TIEL 4000043
- 48/1993 Geopalveluiden maksu- ja mittausperusteet; Geopalveluysiköiden tuloslaskelmat. TIEL 4000049
- 48/1994 Päälystettyjen teiden heijastushalkeilun esto, esiselvitys. TIEL 4000088

## **TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA**

- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005
- 5/1993 Arktinen tienrakentaminen, Kilpisjärven hankkeen yhteenveto. TIEL 3100011
- 2/1994 Routanousun mallintaminen, kirjallisuusselvitys. TIEL 3100013

## **TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ**

- 1/1992 Pystyjanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testausmenetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT), perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus. TIEL 3200119
- 78/1992 PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI/Laser). TIEL 3200134
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200142
- 16/1993 Betonipäällysteen seuranta; Vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 1. TIEL 3200144
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. TIEL 3200145
- 20/1993 Moreeni ja sen käyttö. TIEL 3200146
- 26/1993 Bentoniittimattojen ja muovikavojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen, tutkimuksia ja suosituksia. TIEL 3200152
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämmöneristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta. TIEL 3200161
- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoitusta varten. TIEL 3200172
- 59/1993 Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan välillä Riihimäki P - Virala. TIEL 3200184
- 60/1993 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1991-1992; Pohjaveden pinnan vaikutus, tienpinnan taipumamittaus eri lämpötiloissa, vertailu standardi paripyörä - Neste Oy:n kantavuusradan pyörä. TIEL 3200185
- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193
- 71/1993 Nonwoven Geotextiles in Road Constructions. TIEL 3200193E
- 76/1993 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus 1992-1993. TIEL 3200200
- 77/1993 Moreenin jalostaminen. TIEL 3200201
- 81/1993 Vt 12 Veittotensuon syvästabilointi, tutkimusraportti. TIEL 3200205
- 82/1993 Emulsiopäällysteiden suunnittelu ja rakentaminen. TIEL 3200206
- 4/1994 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Long-Term Pavement Performance (LTPP); Materiaalimodulin määrittäminen takaisinlaskentaohjelmalla sekä tierakenteen vaurioitumisajankohdan ennustemallit. TIEL 3200213
- 7/1994 Tien pohja- ja päällysrakenteet, tutkimusohjelma (TPPT). Tutkimusohjelma vuosille 1994-2000. TIEL 3200218
- 8/1994 Roudan vaikutusten mallintaminen. TIEL 3200219
- 12/1994 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1992-1993. Roudan sulamisen simulointi, pohjaveden pinnan vaikutus korkeassa lämpötilassa ja päällysteen reunan vaikutus. TIEL 3200223
- 24/1994 Tien pohja- ja päällysrakenteet - tutkimusohjelma (TPPT); Työn toiminta- ja laatusuunnitelma vuodelle 1994. TIEL 3200234
- 28/1994 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Vuoden 1993 kuormituskokeet. TIEL 3200238
- 30/1994 Kallioleikkaukset. TIEL 3200240
- 45/1994 Maan routimisen termomekaaninen malli ja sen laskelmat. TIEL 3200254
- 47/1994 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200256
- 53/1994 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, loppuraportti. TIEL 3200262
- 3/1995 Kuormituskestävyyden tavoitekriteerit. TIEL 3200281  
(*Geotekniikan informaatiojulkaisuja:*)
- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 23/1993 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoituserusteet. TIEL 3200150
- 39/1994 Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä. TIEL 3200248
- 42/1994 Nauhapystyöjitys. TIEL 3200251
- 67/1994 Maanvarainen tiepenger savikolla, suunnitteluohje. TIEL 3200276